

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Monitorização de Parques Solares Fotovoltaicos

Pedro Filipe de Almeida Moreira

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: António Machado e Moura

Co-orientador: Fernando Ferreira

21 de Julho de 2017

Resumo

Temas como a escassez de energias derivadas de recursos fósseis, alterações climáticas, emissão de gases com efeito de estufa e aquecimento global, suscitaram um novo papel das energias renováveis na sustentabilidade energética. Das fontes de energia renováveis disponíveis, destaca-se cada vez mais a energia solar fotovoltaica.

O elevado consumo de eletricidade por parte dos consumidores, que se reflete em custos elevados na respectiva fatura de eletricidade, tornam cada vez mais o autoconsumo como uma opção a ser considerada. O autoconsumo é um novo modelo de produção descentralizada de energia destinada a satisfazer as necessidades de energia elétrica do produtor.

De modo a assegurar que o sistema de autoconsumo fotovoltaico seja rentabilizado ao máximo, são apresentados os sistemas de monitorização, que dispõem como mais-valias a visualização e comparação de históricos através do armazenamento de dados, emissão de alarmes no caso de anomalias no sistema, entre outros.

Ao longo desta dissertação, realizou-se um estudo do autoconsumo e do Decreto-Lei que estabelece, atualmente, o regime jurídico aplicável às unidades de produção para autoconsumo. De seguida, foi feita uma apresentação das funcionalidades de um sistema de monitorização fotovoltaico e foi realizada uma pesquisa de alguns dos principais sistemas disponíveis no mercado atual. Posteriormente foram analisados e descritos os conceitos de meios e protocolos de comunicação, responsáveis pelo correto concebimento e funcionamento de um sistema de monitorização fotovoltaico. Identificou-se os principais tipos de meios físicos para a transmissão de informação e apresentaram-se os padrões e protocolos usados na realização deste trabalho.

A presente dissertação tem como um dos objetivos principais a otimização de um sistema de monitorização e a respetiva integração numa unidade de produção para autoconsumo fotovoltaico. Este sistema de monitorização é constituído por um *data logger* que deverá comunicar com os restantes componentes de monitorização da instalação fotovoltaica, de maneira a recolher e armazenar os dados de interesse para uma posterior análise da viabilidade económica do sistema de autoconsumo fotovoltaico da empresa.

Palavras-Chave: Energia Solar Fotovoltaica, Autoconsumo, Unidade de Produção para Autoconsumo, Sistema de Monitorização, Monitorização Fotovoltaica, Viabilidade Económica.

Abstract

Issues such as the shortage of energy derived from fossil resources, climate change, greenhouse gas emissions and global warming, have triggered a new role for renewable energy in energy sustainability. Of all the available renewable energy sources, solar photovoltaic energy is gathering particular attention.

The high electricity consumption by consumers, which reflects in high electricity bills, increasingly makes self-consumption an option to be considered. Self-consumption is a new decentralized energy production mode, designed to meet the producer's electricity needs.

In order to ensure that the photovoltaic self-consumption system performance is to the fullest, a monitoring systems is required, with the added value of visualizing and comparing historical data through data storage, triggering alarms in case of error in the system, among other functions.

Throughout this dissertation, a study of self-consumption and of the present Decree-Law was made, which establishes the legal regime applied to production units for self-consumption. Next, it was presented the main features of a photovoltaic monitoring system and a study regarding the main systems available in today's market. Subsequently, the concepts of physical media and communication protocols were analyzed. These concepts are responsible for the correct design and operation of a photovoltaic monitoring system. The main types of physical media were identified, as were the standards and protocols studied throughout this dissertation.

The main objective of this dissertation consists in the optimization of a monitoring system and the respective integration in a photovoltaic unity of production for self-consumption. This monitoring system consists of a data logger that needs to communicate with the other monitoring devices of the photovoltaic system, in order to collect and store the necessary data used for a later analysis of the viability of the company's photovoltaic unity of production for self-consumption.

Keywords: Unity of Production for Self-Consumption, Self-Consumption, Photovoltaic Solar Energy, Monitoring System, Photovoltaic Monitoring, Viability.

Agradecimentos

Gostaria de começar por agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor António Machado e Moura, pela simpatia, disponibilidade e apoio demonstrado ao longo de toda a dissertação. Agradeço ainda por todos os conhecimentos que me foi capaz de transmitir enquanto professor.

Agradeço ao Engenheiro Fernando Ferreira e ao Engenheiro João Fernandes da Proef Renováveis, por todo o contributo e disponibilidade demonstrada na realização da dissertação.

Ao Professor Doutor Paulo Portugal pelas dúvidas que me esclareceu ao longo do trabalho.

Aos meus amigos, por todos os momentos inesquecíveis que vivi com eles e por saber que posso sempre contar com o apoio deles no que for preciso.

Por último, mas em principal destaque, queria agradecer a toda a minha família, essencialmente aos meus pais, ao meu irmão, à minha avó e ao meu avô, Horácio Dias de Almeida. Todo o carinho, ajuda, preocupação e motivação que me ofereceram ao longo da vida, definem quem eu sou hoje.

A todos, muito obrigado.

Pedro Moreira

“We cannot solve our problems with the same thinking we used when we created them.”

Albert Einstein

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura da Dissertação	4
2	Estado da Arte	5
2.1	Autoconsumo e Enquadramento Legal	5
2.1.1	Autoconsumo Fotovoltaico	5
2.1.2	Legislação Autoconsumo	7
2.1.2.1	Condições de Acesso e de Exercício de Atividade	8
2.1.2.2	Requisitos para o Acesso ao Registo	9
2.1.2.3	Direitos e Deveres do Produtor	9
2.1.2.4	Atribuições e Competências	10
2.1.2.5	Contagem nas Unidades de Produção de Autoconsumo	10
2.1.2.6	Remuneração e compensações atribuídas às UPAC	11
2.1.2.7	Complementos e Alterações no Decreto-Lei nº 153/2014	13
2.2	Sistemas de Monitorização	14
2.2.1	Sistemas de Monitorização em Instalações FV	14
2.2.2	Sistemas de Monitorização disponíveis no Mercado	15
2.3	Meios e Protocolos de Comunicação	19
2.3.1	Modelo OSI - Visão Geral	20
2.3.2	Meios Físicos de Transmissão de Dados	21
2.3.3	RS-485	25
2.3.4	Ethernet	28
2.3.5	Modbus	32
2.3.5.1	Modbus RTU e ASCII	33
2.3.5.2	Modbus TCP	35
3	Desenvolvimento	37
3.1	Caracterização do Local da Instalação FV	37
3.2	Sistema de Monitorização	39
3.2.1	Componentes	39
3.2.1.1	Data Logger	39
3.2.1.2	Inversores	42
3.2.1.3	Contadores	43
3.2.1.4	Relé de Proteção de Interligação	43
3.2.2	Sistema de Monitorização	44
3.3	Análise Económica	52

3.3.1	Tratamento de Dados	52
3.3.2	Poupança	57
4	Conclusões e Trabalho Futuro	67
4.1	Conclusões	67
4.2	Trabalhos Futuros	68
A	Folha de Características	69
A.1	Datalogger	69
A.2	Inversor	72
A.3	Contador	74
A.4	Relé de Proteção de interligação	82
B	Tabelas Complementares	85
C	Código VBA e Macro	87
C.1	VBA	87
C.2	Macro	90
D	Balanco energético diário	95
	Referências	97

Lista de Figuras

1.1	Mapa da distribuição da radiação global média anual na Europa.	2
1.2	Previsão de consumo elétrico por fonte de produção.	3
2.1	Esquema de uma UPAC com ligação à RESP.	6
2.2	Relação da produção com o consumo de uma UPAC.	6
2.3	Esquema de um sistema de monitorização, em aplicação comercial.	14
2.4	Solar-log 1200.	16
2.5	<i>Dashboard do Solar-LogTM "Commercial Edition"</i>	17
2.6	<i>Plant Portfolio Manager</i>	18
2.7	<i>VSN700 Data Logger</i>	19
2.8	Camadas do modelo OSI.	20
2.9	Constituintes de um cabo coaxial.	22
2.10	Categorias dos cabos de pares entrançados.	23
2.11	Fibra ótica monomodo e multimodo.	24
2.12	Exemplo de uma ligação RS-845 <i>multi-drop</i>	26
2.13	Forma de onda RS-485.	27
2.14	Relação entre o comprimento de cabo e a velocidade de transmissão.	28
2.15	Rede Ethernet.	28
2.16	Quadro Ethernet.	31
2.17	Estrutura das camadas do protocolo Modbus.	32
2.18	Modo <i>unicast</i>	34
2.19	Modo <i>broadcast</i>	34
2.20	Modbus PDU.	34
2.21	Formato de um quadro Modbus RTU.	35
2.22	Formato de um quadro Modbus ASCII.	35
2.23	Formato de um quadro Modbus TCP.	35
3.1	Localização da instalação FV e do edifício da empresa a ser alimentado.	37
3.2	Instalação FV da Eurico Ferreira na Trofa.	38
3.3	<i>Smart Logger 1000</i> da marca <i>Huawei</i>	40
3.4	Servidor online <i>NetEco</i> para acesso aos dados das variáveis, armazenados no <i>Smart Logger 1000</i>	41
3.5	Visão inferior do <i>Smart Logger 1000</i>	42
3.6	Comunicação entre o <i>data logger</i> e o utilizador.	45
3.7	Ligação entre o <i>Smart Logger 1000</i> e um PC, de forma a aceder ao servidor <i>online</i>	46
3.8	Esquema tipo de uma UPAC com ligação à RESP e com sistema de monitorização instalado.	47
3.9	Ligação entre o <i>Smart Logger 1000</i> e o <i>SUN2000</i>	49

3.10	Ciclo horário semanal.	52
3.11	Consumo energético mensal por período horário.	58
3.12	Custo do consumo energético mensal por tarifa aplicada.	60
3.13	Balanço energético da energia FV.	64
3.14	Fatura elétrica com e sem autoconsumo.	65

Lista de Tabelas

2.1	Requisitos para o acesso às atividades de autoconsumo.	9
2.2	RS-485 em relação ao modelo OSI.	26
2.3	Ethernet em relação ao modelo OSI.	29
3.1	Entradas e respetivas ligações do <i>Smart Logger 1000</i>	42
3.2	Interfaces e protocolos de comunicação disponíveis.	45
3.3	Legenda do esquema unifilar da UPAC	48
3.4	Ligações do sistema de monitorização.	51
3.5	Valores de consumo depois, num dia aleatório.	54
3.6	Balanço energético diário.	56
3.7	Consumo mensal por período horário.	58
3.8	Tarifas do consumo energético.	59
3.9	Custos do consumo.	59
3.10	Produção fotovoltaica mensal.	60
3.11	Consumo depois mensal por período horário.	61
3.12	Energia vendida à RESP em cada mês.	62
3.13	Valores do $OMIE_m$ a aplicar à receita da energia vendida à RESP.	62
3.14	Balanço energético com e sem autoconsumo.	63
3.15	Poupança na fatura elétrica com e sem autoconsumo.	64

Abreviaturas e Símbolos

Lista de Abreviaturas

ABB	<i>Asea Brown Boveri</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interface</i>
BNC	<i>Bayonet Nut Coupling</i>
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
BTN	Baixa Tensão Normal
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>
CIEG	Custos de Interesse Económico Geral
DC	<i>Direct Current</i>
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
EDP	Energias de Portugal
EEGO	Entidade Emissora de Garantias de Origem
EIA	<i>Electric Industries Association</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FTP	<i>Foiled Twisted Pair</i>
FV	Fotovoltaico
GND	<i>Ground</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>Internacional Organization for Standardization</i>
LLC	<i>Logical Link Control</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
LRC	<i>Longitudinal Redundancy Check</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Networks</i>
MBAP	<i>Modbus Application Protocol</i>
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
MT	Média Tensão
OMIE	Operador de Mercado Ibérico de Energia
OSI	<i>Open System Interconnection</i>

PC	<i>Personal Computer</i>
PDU	<i>Protocol Data Unit</i>
PHP	Potência em Horas de Ponta
PI	Potência Instalada
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QE	Quadro de Entrada
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RJ	<i>Registered Jack</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SERUP	Sistema Eletrônico de Registo de Unidades de Produção
SFD	<i>Stard Frame Delimiter</i>
STP	<i>Shielded Twisted-Pair</i>
TCP	<i>Transmition Control Protocol</i>
TI	Transformador de Intensidade
TIA	<i>Telecommunication Industries Association</i>
TT	Transformador de Tensão
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
UPP	Unidade de Pequena Produção
UTP	<i>Unshielded Twisted-Pair</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

Lista de Símbolos

bps	Bits por segundo
C_t	Energia consumida
C_{t-1}	Energia consumida no período anterior
$C_{UPAC,m}$	Compensação a pagar por cada kW de potência instalada
CD_t	Energia consumida depois
$CIEG_{i,h}^e$	Somatório da média aritmética simples das várias parcelas dos CIEG
$CIEG_i^p$	Somatório das parcelas "i" dos CIEG
$E_{fornecida,m}$	Energia fornecida em pela UPAC em determinado mês
Gb	Gigabit
Gbps	Gigabits por segundo
h	Período horário de fornecimento de energia elétrica aos clientes finais
i	Período horário em que é feita a entrega de energia elétrica
k_t	Coeficiente de ponderação a aplicar ao termo $VCIEG_{\alpha,t}$
Km	Quilómetro
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
m	Mês
Mbps	Megabits por segundo
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
$OMIE_m$	Média aritmética simples dos preços de fecho do Operador de Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para o mercado diário português
P_t	Energia produzida
P_{UPAC}	Potência instalada da UPAC
$R_{UPAC,m}$	Remuneração da UPAC em determinado mês
V_t	Energia vendida à rede
V_{CIEG_t}	Parcela de recuperação dos CIEG
t	Ano de emissão do certificado de exploração da UPAC
t	Período de tempo de 15 minutos
W	Watt
€	Euro
%	Por cento

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização

Atualmente, o mundo enfrenta mudanças importantes no setor energético. O uso de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) era a prática mais comum para a produção de energia elétrica, através de centrais térmicas que utilizam os combustíveis fósseis como energia primária. O constante desenvolvimento da humanidade resultou com que os níveis de poluição fossem aumentando drasticamente, nomeadamente através do uso destes recursos. Devido ao facto destes recursos serem cada vez mais escassos e devido às preocupações ambientais decorrentes do aumento das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera, tornou-se inevitável a crescente procura de fontes de energia alternativas. [1, 2]

As fontes de energia alternativas, ou renováveis, são aquelas cuja utilização e uso é renovável e pode-se manter e ser aproveitado ao longo do tempo, sem haver possibilidade destas fontes se esgotarem. A obtenção de energia renovável não contribui para a poluição do ambiente nem para a emissão de gases para a atmosfera. Assim, a utilização de fontes de energia renovável apresenta-se vantajosa quer do ponto de vista da durabilidade do recurso, quer do ponto de vista ambiental. [1, 2]

Tendo como objetivo reduzir o uso de combustíveis fósseis na produção de energia elétrica, a União Europeia estabeleceu as seguintes metas a cumprir até ao ano 2020 [3, 4]:

- Aumentar em 20% a quantidade de energia consumida proveniente de fontes de energia renováveis;
- Aumentar em 20% a eficiência energética;
- Reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa.

Uma das respostas aos objetivos propostos passou pela regulação do autoconsumo e mecanismos semelhantes em vários países da União Europeia. Portugal implementou o regime de

autoconsumo através do Decreto-Lei nº 153/2014, de 20 de outubro. Com o autoconsumo, passou a haver um incentivo para o consumidor produzir a sua própria energia, recorrendo a fontes renováveis ou não renováveis, de maneira a satisfazer as suas necessidades energéticas.[5]

De entre as fontes de energia renováveis, a solar apresenta-se como uma das principais, uma vez que é um recurso praticamente inesgotável e constante. Portugal é um dos países da Europa com melhores condições para o aproveitamento deste recurso, pois dispõe de um número médio anual de 2200 a 3000 horas de Sol no continente e entre 1700 horas e 2200 horas nos arquipélagos da Madeira e dos Açores. Uma média considerável quando comparada, por exemplo, com a Alemanha que dispõe apenas de 1200 a 1700 horas solares anuais, sendo, no entanto, o país líder europeu de produção de sistemas fotovoltaicos e um dos países do mundo com mais potência fotovoltaica instalada. A figura 1.1 ilustra o número médio anual de horas de exposição solar na Europa. [6]

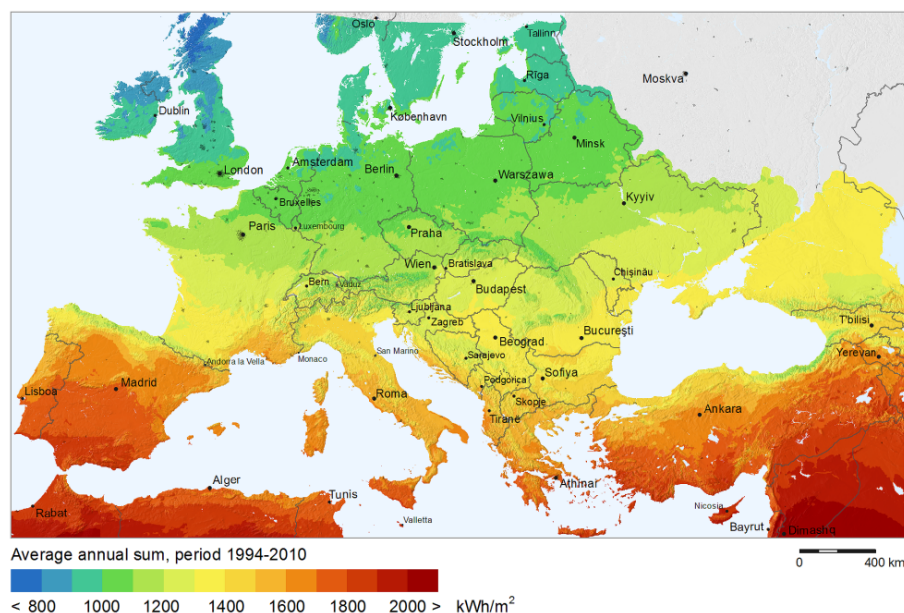


Figura 1.1: Mapa da distribuição da radiação global média anual na Europa [7].

Num estudo efetuado pela *Shell*, que expõe cenários alternativos até 2050, perspectiva-se que o consumo de energia de origem solar representará uma grande percentagem da quantidade de energia final consumida, como se pode verificar na figura seguinte. [8]

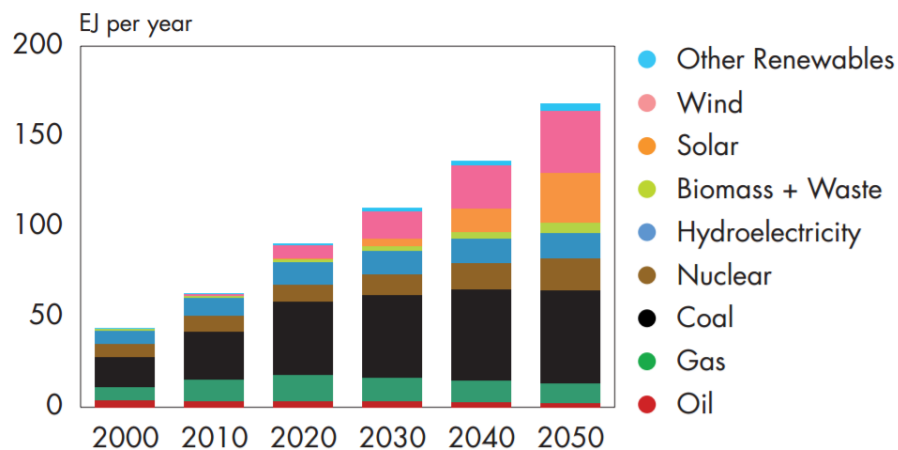


Figura 1.2: Previsão de consumo elétrico por fonte de produção [8].

Analisando a figura 1.2, está prevista uma diminuição da dependência no uso de combustíveis fósseis, sendo esta substituída por fontes energéticas renováveis. Em 2050, as fontes renováveis assumem um papel preponderante, destacando-se o crescimento acentuado da fonte solar na quantidade de energia final consumida.

De maneira a que o aumento de produção de energia solar se concretize, é necessário que estes sistemas apresentem fortes vantagens a nível de desempenho técnico e económico. Nos módulos fotovoltaicos, a conversão da energia solar em energia elétrica é relativamente baixa. A máxima produção de energia varia em função de um conjunto de fatores, como a irradiância solar, temperatura, entre outros. De maneira a maximizar a potência produzida, resultando num melhor desempenho do sistema, é importante a implementação de um sistema de monitorização, de forma a ajudar o utilizador destes sistemas nas decisões relacionadas com o desempenho fotovoltaico. [1]

1.2 Objetivos

Os dois principais objetivos da presente dissertação consistem na otimização e integração de um sistema de monitorização para unidades de produção de autoconsumo fotovoltaico e fazer uma análise da viabilidade económica de um sistema de autoconsumo com base nos dados obtidos e armazenados pelo sistema de monitorização.

Este estudo foi realizado com base num parque solar fotovoltaico da empresa Eurico Ferreira.

Desta forma, ao longo deste trabalho, foram cumpridos os seguintes pontos:

- Estudo do autoconsumo;
- Estudo da legislação existente, a nível nacional, relativo ao autoconsumo;

- Estudo associado a sistemas de monitorização, protocolos e meios de comunicação;
- Desenvolvimento e integração de um sistema de monitorização em unidades de autoconsumo;
- Análise do impacto económico do sistema de autoconsumo fotovoltaico da empresa na fatura elétrica mensal.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 4 capítulos.

No presente capítulo é feita um enquadramento do tema da dissertação, enunciando os objetivos e motivações que levaram à sua realização.

No segundo capítulo é apresentado o estado da arte. Inicialmente é introduzido o conceito de autoconsumo, seguido de uma análise à legislação vigente em Portugal relativamente às unidades de produção para autoconsumo. Posteriormente é descrito o conceito de sistemas de monitorização e são apresentados alguns dos sistemas de monitorização atualmente existentes no mercado. Por último, é feita uma breve descrição do modelo de referência OSI (*Open System Interconnection*) e são introduzidos os meios físicos e protocolos de comunicação que foram utilizados no sistema de monitorização desenvolvido ao longo do trabalho.

O terceiro capítulo começa com uma breve introdução ao parque solar fotovoltaico da empresa. De seguida, são caracterizados os componentes do sistema de monitorização e é desenvolvido o sistema de monitorização para uma unidade de produção para autoconsumo. Por fim, é realizada uma análise dos efeitos do autoconsumo na fatura elétrica da empresa.

No quarto capítulo são apresentadas as conclusões retiradas desta dissertação e são indicados trabalhos futuros possíveis de serem realizados no seu âmbito.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 Autoconsumo e Enquadramento Legal

Portugal é um país com enorme potencial para a produção de energia elétrica baseada em recursos renováveis, como é o exemplo da energia hídrica, fotovoltaica, eólica e biomassa. Relativamente à energia solar, Portugal apresenta um nível elevado de radiação solar, bem como muitas horas diárias de Sol, quando comparado com outros países da Europa. Porém, estas vantagens não têm sido aproveitadas, por vezes pela falta de regulamentação ou dificuldade na falta de compreensão da regulação, e pela falta de incentivos adequados, o que, por sua vez, têm afastado potenciais clientes deste setor. [1]

Desta forma, o governo português tem juntado esforços para incentivar a aposta das energias renováveis em Portugal, mais precisamente a nível da energia solar fotovoltaica. Prova disso é o atual Decreto-Lei que regula a produção de energia para autoconsumo e pequena produção (antigas microprodução e miniprodução) e as respetivas remunerações. [5]

2.1.1 Autoconsumo Fotovoltaico

Uma determinada instalação de utilização funciona em regime de autoconsumo quando está associada a si uma unidade produtora de energia, baseada em tecnologia renovável ou não renovável, e consome toda ou uma parte da energia produzida pela mesma. Através desta solução cada consumidor produz a sua própria energia e tem a hipótese de injetar o excedente na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP). Os consumidores que optem por produzir a sua própria energia e consequentemente a consumir, passam a ter uma unidade produtora definida como Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC). [5, 9]

Existem diversos sistemas de autoconsumo, sendo cada um deles adaptados às necessidades e objetivos pretendidos pelo cliente. Devido à notória evolução das soluções fotovoltaicas, esta tecnologia aparece como o principal sistema de produção nos sistemas de autoconsumo.

A figura 2.1 representa a configuração típica de uma UPAC com ligação à RESP.

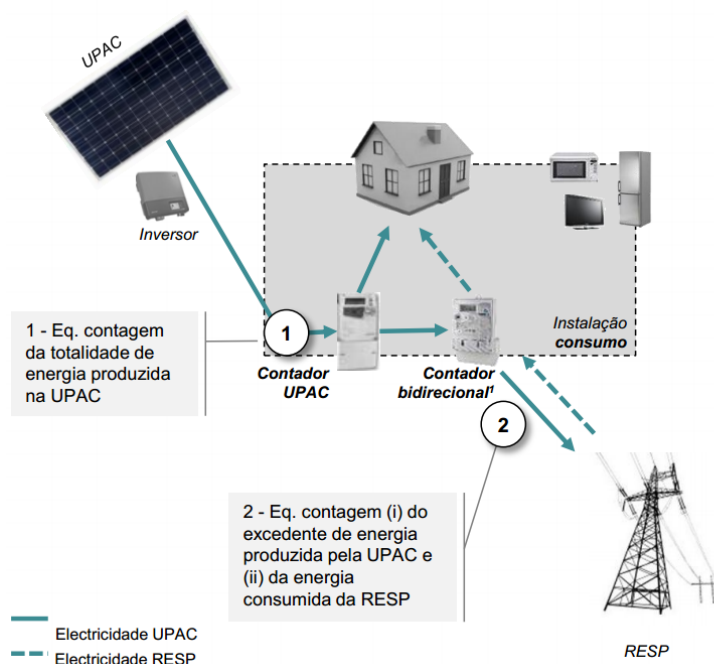


Figura 2.1: Esquema de uma UPAC com ligação à RESP. [10]

Na figura 2.2 é apresentado um diagrama tipo da relação entre a produção e o consumo de uma UPAC com produção fotovoltaica (FV). A produção excedente (representada a azul), proveniente da unidade produtora, é o resultado de em alguns momentos a produção (representada pela linha a vermelho) superar o consumo da instalação de utilização (representada a cinzento), sendo neste caso injetada na RESP. No caso da produção não superar o consumo da instalação de utilização, esta necessidade será coberto pela eletricidade proveniente da RESP. [11]

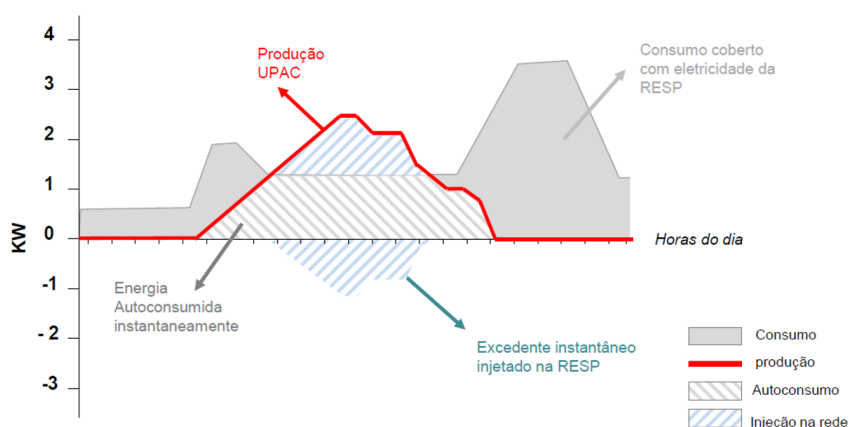


Figura 2.2: Relação da produção com o consumo de uma UPAC. [12]

O modelo de autoconsumo apresenta várias vantagens para diversas entidades, como é o caso para os consumidores, para os operadores de rede, para as empresas pertencentes ao setor das energias renováveis e até mesmo ao setor político. Das várias vantagens existentes, são de destacar as seguintes: [13]

- A produção da própria energia elétrica permite aos consumidores reduzir os custos na fatura de energia, pois deixam de comprar essa energia autoproduzida à RESP;
- Os consumidores passam a estar menos expostos à variação dos preços da energia elétrica: existe uma tendência de subida dos preços da eletricidade para os próximos anos, mas recorrendo ao autoconsumo, o consumidor garante um custo fixo da eletricidade que produzir para pelo menos os próximos 25 anos após a instalação do seu sistema FV;
- A energia produzida através do sistema FV contribui para a redução das emissões de gases poluentes que contribuem para o efeito de estufa;
- O investimento em sistemas FV, no enquadramento do autoconsumo, permite obter um retorno a curto prazo, normalmente entre os seis e os nove anos, quando é feito o correto dimensionamento do sistema;
- A energia produzida próxima da zona de consumo implica uma diminuição das perdas existentes na rede de distribuição;
- Dinamização das empresas do setor das energias renováveis, o que conduz à criação de emprego e ao desenvolvimento de economias locais;
- Os consumidores com coberturas nos seus edifícios ou com terrenos inutilizados podem aproveitar esses locais para instalar o sistema de autoconsumo, rentabilizando ativos que de outra forma não seriam utilizados;
- O aumento progressivo dos sistemas de autoconsumo reflete-se positivamente no alcance das políticas estabelecidas pela União Europeia, no plano "Europa 2020".

A UPAC deve ser dimensionada de modo a satisfazer as necessidades da instalação de utilização onde está inserida, para que a potência excedente injetada na rede seja mínima. Este tipo de unidades está sujeito à legislação constante do Decreto-Lei n.º 153/2014, que será aprofundado de seguida. [5]

2.1.2 Legislação Autoconsumo

O atual Decreto-Lei, o Decreto-Lei n.º 153/2014, de 20 de outubro, tem como principal função estabelecer o regime jurídico para a produção de eletricidade destinada ao autoconsumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à rede elétrica de serviço pública, baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis, designadas

por Unidades de Produção para Autoconsumo. Este Decreto-Lei estabelece também o regime jurídico para a produção de eletricidade, vendida na sua totalidade à RESP, através de instalações de pequena potência, a partir de recursos renováveis, designadas por Unidades de Pequena Produção (UPP). É, no entanto, necessário referir que as UPP não serão alvo de uma abordagem detalhada neste documento. [5]

Este novo enquadramento veio revogar o Decreto-Lei nº 34/2011 (alterado pelo Decreto-Lei nº 25/2013) e o Decreto-Lei nº 363/2007 (alterado pela lei nº 67-A/2007 e pelo Decreto-Lei nº 118-A/2010 e Decreto-Lei nº 25/2013) que definiram os regimes jurídicos destinados à produção de eletricidade através de unidades de miniprodução e microprodução, respetivamente. [5, 14, 15]

O atual Decreto-Lei surgiu com o intuito de promover a produção descentralizada de energia e o desenvolvimento das várias tecnologias associadas, incentivando o autoconsumo, continuando a permitir o abastecimento de terceiros e a venda dos excedentes à rede. Este Decreto-Lei foi criado no âmbito do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER), aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros nº 20/2013, e a partir da sua entrada ficou definido o enquadramento legal para o autoconsumo e para a pequena produção. [5, 9]

2.1.2.1 Condições de Acesso e de Exercício de Atividade

O Decreto-lei regula que a atividade de produção de energia elétrica é livre, porém, tem de ser instalada no mesmo local servido pela instalação de utilização de energia elétrica, estando sujeita a registo prévio e a sua entrada em exploração está sujeita à obtenção de certificado de exploração, com a ressalva de algumas exceções [5]:

- Potência instalada inferior ou igual a 200 W fica isenta de controlo prévio;
- Potência instalada entre 200 W e 1,5 kW ou cuja instalação elétrica de utilização não se encontre ligada à RESP fica sujeita a mera comunicação prévia de exploração;
- Potência instalada inferior ou igual a 1,5 kW requer registo e certificado de exploração;
- Potência instalada superior a 1 MW requer licença de produção e licença de exploração;
- O detentor de uma instalação elétrica de utilização sem ligação à RESP associada a uma unidade de produção, que utiliza fontes de energia renovável e pretende transacionar garantias de origem, está sujeito a registo prévio a à obtenção de certificado de exploração;
- A pluralidade de registos de unidades de produção em nome do mesmo produtor é permitida, desde que a cada instalação de utilização só esteja associada uma única unidade de produção em nome do mesmo produtor.

Estas condições encontram-se resumidas na tabela 2.1, em que PI corresponde à Potência Instalada.

Tabela 2.1: Requisitos para o acesso às atividades de autoconsumo. Adaptado de [5, 9]

	Registo Prévio	Certificado de Exploração	Licença de Produção	Licença de Exploração	Insenção de Controlo Prévio	Mera Comunicação
UPAC PI \leq 200W					X	
UPAC PI entre 200W e 1,5kW ou UPAC sem ligação à RESP						X
UPAC PI \leq 1,5kW e ligação à RESP	X	X				
UPAC PI $>$ 1MW			X	X		
Instalação sem ligação à RESP, utiliza fontes de energia renovável e pretende transacionar garantias de origem	X	X				

2.1.2.2 Requisitos para o Acesso ao Registo

O registo de uma unidade de produção pode ser feito por pessoa singular ou coletiva, bem como por condomínios organizados em propriedade horizontal, desde que sejam cumpridos certos requisitos, onde se destacam [5]:

- A necessidade de deter uma instalação de utilização aquando do pedido de registo e, se esta estiver ligada à RESP, deve também deter um contrato com o comercializador para o fornecimento de energia, mas a potência de ligação não deve ser superior à potência contratada;
- No caso de uma UPAC, a sua potência instalada está limitada ao dobro da potência de ligação;
- Se a instalação elétrica de utilização se encontrar ligada à RESP, o promotor deve proceder a uma averiguação das condições técnicas de ligação no local onde pretende instalar a unidade de produção.

2.1.2.3 Direitos e Deveres do Produtor

Para executar a atividade de produção de eletricidade para autoconsumo o produtor possui os seguintes direitos [5]:

- Criar uma UPAC em cada instalação elétrica de utilização e, recorrendo a qualquer fonte de energia, renovável ou não renovável, podendo utilizar várias delas e as suas tecnologias;
- Ligar a UPAC à instalação de utilização após a emissão do correspondente certificado de exploração definitivo;
- Consumir a eletricidade gerada na UPAC, bem como injetar excedentes na rede;

- Celebrar um contrato de venda da eletricidade não consumida, proveniente da UPAC;
- Solicitar a emissão de garantias de origem à Entidade Emissora de Garantias de Origem (EEGO) relativas à eletricidade produzida na UPAC e autoconsumida, proveniente de fontes de energia renováveis.

Para além de direitos, o produtor tem alguns deveres no exercício da atividade de produção de eletricidade. São apresentados de seguida os deveres do produtor [5]:

- Suportar o custo das alterações da ligação da instalação de utilização à RESP;
- Quando for aplicável, suportar o custo associado aos contadores que medem o total de eletricidade produzida pela UPAC, bem como o total da eletricidade injetada na RESP;
- Pagar a devida compensação pela UPAC, quando assim é requerido;
- Dimensionar a UPAC de forma a garantir a aproximação da energia elétrica produzida com a quantidade de energia elétrica consumida na instalação elétrica de utilização;
- Fornecer à Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), ou a entidade delegada, todas as informações e dados técnicos que lhe sejam solicitadas;
- Possuir um seguro de responsabilidade civil para a reparação de danos corporais ou materiais causados a terceiros resultantes do exercício das atividades de produção de eletricidade para autoconsumo;
- Assegurar a certificação dos equipamentos de produção.

2.1.2.4 Atribuições e Competências

A entidade responsável pela decisão e coordenação da atividade de produção de energia é a DGEG. Esta apresenta várias funções, das quais se salientam as seguintes [5, 6]:

- Gerir o Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP);
- Autorizar o registo da unidade de produção e realizar as inspeções necessárias à emissão do certificado de exploração;
- Manter uma base de dados sobre todos os registos e instalações em exploração.

2.1.2.5 Contagem nas Unidades de Produção de Autoconsumo

A contagem da energia elétrica produzida pela UPAC é obrigatória quando são verificadas as seguintes condições [5, 9]:

- Potência instalada é superior a 1,5 kW e a instalação de utilização se encontra ligada à RESP;
- Qualquer que seja a potência instalada, desde que se pretenda efetuar a venda do excedente de produção à RESP;
- Quando se pretende transacionar Garantias na Origem.

A contagem de energia elétrica é feita por um equipamento que possibilita a telecontagem. A contagem da energia fornecida pela UPAC à RESP e da energia comprada ao comercializador pode ser realizada através de um contador bidirecional, utilizado para medir a contagem nos dois sentidos [9, 5].

A figura 2.1 apresenta o modelo de funcionamento para os casos em que é necessária contagem nas UPAC.

2.1.2.6 Remuneração e compensações atribuídas às UPAC

Quando o detentor de uma UPAC vende energia à RESP, resultante do excedente da produção, de acordo com o artigo 24º, este deve ser remunerado de acordo com a seguinte expressão [5]:

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (2.1)$$

Onde:

- $R_{UPAC,m}$ - Remuneração da eletricidade injetada na RESP, no mês m, em [€];
- $E_{fornecida,m}$ - Energia fornecida no mês m, em [kWh];
- $OMIE_m$ - Valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador de Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para o mercado diário português, relativos ao mês m, em [€/kWh];
- m - Mês a que se refere a contagem da eletricidade fornecida à RESP.

O valor 0,9 corresponde a uma redução de 10% feita à energia fornecida, de maneira a colmatar os custos de injeção.

As UPAC com potência instalada superior a 1,5 kW e cuja instalação elétrica de utilização se encontre ligada à RESP, estão sujeitas ao pagamento de uma compensação. As compensações são fixas e pagas mensalmente nos primeiros 10 anos após a obtenção do certificado de exploração. Essa compensação, referida no artigo 25º, é calculada através da seguinte expressão [5]:

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} \times V_{CIEG,t} \times K_t \quad (2.2)$$

Onde:

- $C_{UPAC,m}$ - Corresponde à compensação a pagar, no mês m , por cada kW de potência instalada, em [€];
- P_{UPAC} - Valor da potência instalada da UPAC e que consta do respetivo certificado de exploração, em [kW];
- $V_{CIEG,t}$ - Valor que permite reaver os custos originados por medidas de política energética, de sustentabilidade ou também designados como Custos de Interesse Económico Geral (CIEG), no ano t , da respetiva UPAC, em [€/kW];
- K_t - Coeficiente de ponderação, que varia entre 0% e 50%, a aplicar à parcela $V_{CIEG,t}$, tendo em consideração a representatividade da potência total das UPAC registadas, no ano t , no Sistema Elétrico Nacional (SEN);
- t - Ano em que foi emitido o certificado de exploração da UPAC;

O $V_{CIEG,t}$, referido anteriormente é calculado através da seguinte expressão [5]:

$$V_{CIEG,t} = \sum_{n=0}^2 CIEG_i^p \times \frac{1}{3} + \sum_{n=0}^2 CIEG_{i,h}^e \times \frac{1}{3} \times \frac{1500}{12} \quad (2.3)$$

Onde:

- $CIEG_i^p$ - Corresponde à soma dos valores das parcelas i do CIEG, que se encontram na alínea c) do n.º 1 do artigo 3º da Portaria n.º 332/2012, medido em [€/kWh], para o nível de tensão da respetiva UPAC. Os valores dessas parcelas são publicados pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) para o ano ‘t-n’;
- $CIEG_{i,h}^e$ - Corresponde à soma da média aritmética simples para cada período horário ‘h’ e de cada uma das parcelas ‘i’ dos CIEG, que se encontram nas alíneas a), b), d), e), f), g), h), e) e j) do n.º 1 do artigo 3º da Portaria n.º 332/2012, medido em [€/kWh] e variam de acordo com o nível de tensão em cada UPAC. Os valores dessas parcelas são publicados pela ERSE para o ano ‘t-n’;
- i - Refere a alínea em questão no n.º 1 do artigo 3º da Portaria n.º 332/2012;
- h - Corresponde ao período horário de fornecimento de energia elétrica aos clientes finais, de acordo com a Portaria n.º 332/2012;

- **t** - Corresponde ao ano de emissão do certificado de exploração da UPAC.

Relativamente ao coeficiente de ponderação (K_t), este pode assumir os seguintes valores [5]:

- $K_t = 0\%$ - Caso o valor da potência instalada na UPAC seja inferior a 1% do total de potência instalada de centro electroprodutores do SEN;
- $K_t = 30\%$ - Caso o valor da potência instalada na UPAC esteja situado entre 1% e 3% do total de potência instalada de centro electroprodutores do SEN;
- $K_t = 50\%$ - Caso o valor da potência instalada na UPAC seja superior a 3% do total de potência instalada de centro electroprodutores do SEN.

2.1.2.7 Complementos e Alterações no Decreto-Lei nº 153/2014

De modo a complementar e clarificar o Decreto-Lei nº 153/2014, foi introduzida a portaria nº 14/2015, de 23 de janeiro. [16]

Esta portaria define que as UPAC que tenham uma potência instalada superior a 1,5 kW e inferior ou igual 1MW, em que os detentores pretendam a ligação à RESP, têm de efetuar o seu registo prévio e obter o certificado de exploração. No caso da UPAC não estar ligada à RESP e se pretenda transacionar garantias de origem, é necessário cumprir os deveres anteriores. [16]

O artigo 19 refere-se às taxas de registo das unidades de produção. Estas taxas variam com a potência das unidades de produção e com o a ligação, ou não, desta à RESP, sendo retirados os seguintes valores.[16]

- UPAC com injeção de potência na RESP:
 - Potência instalada inferior a 1,5 kW - 30 €
 - Potência instalada entre 1,5 kW e 5 kW - 100 €
 - Potência instalada entre 5 kW e 100 kW - 250 €
 - Potência instalada entre 100 kW e 250 kW - 500 €
 - Potência instalada entre 250 kW e 1 MW - 750 €
- UPAC sem injeção de potência na RESP:
 - Potência instalada entre 1,5 kW e 5 kW - 70 €
 - Potência instalada entre 5 kW e 100 kW - 175 €
 - Potência instalada entre 100 kW e 250 kW - 300 €
 - Potência instalada entre 250 kW e 1 MW - 500 €

Está ainda sujeita a uma taxa de inspeção periódica que corresponde a 20 % da taxa de registo. No caso de uma reinspeção da instalação ou alterações ao registo, serão também aplicadas taxas. [16]

A Portaria nº 15/2015 e a Portaria nº 60-E/2015 introduziram alterações ao Decreto-Lei nº 153/2014, nomeadamente às UPP, logo não serão aprofundadas nesta dissertação. [17, 18]

2.2 Sistemas de Monitorização

2.2.1 Sistemas de Monitorização em Instalações FV

Para que o sistema FV funcione de forma correta e segura é necessária a implementação de um sistema de monitorização apropriado, tendo como objetivo garantir que o sistema FV seja rentabilizado ao máximo. Estes sistemas oferecem um acompanhamento pormenorizado da instalação FV, assegurando a segurança e a eficiência das operações do sistema FV. [1]

Um sistema de monitorização permite aos utilizadores uma visão global e instantânea das instalações de produção. Estes sistemas possibilitam que o utilizador analise a evolução temporal de várias variáveis elétricas medidas nas instalações, na forma de tabelas, gráficos ou esquemas para facilitar a sua visualização. O sistema de monitorização é também capaz de verificar se ocorreram anomalias na instalação, emitindo alarmes que permitem que seja feita uma manutenção atempada, evitando assim danos graves nas instalações. Este permite ainda guardar todos os dados recolhidos do sistema, dos eventos ocorridos e alarmes que o sistema venha a gerar. São definidos pequenos intervalos de tempo para a base de dados armazenar os valores das variáveis, registadas pelos vários componentes do sistema monitorizado.

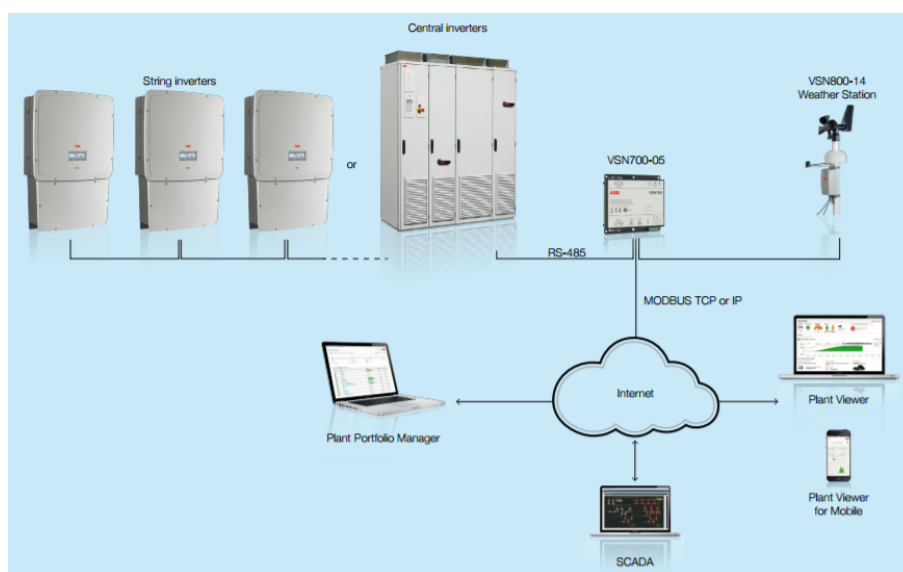


Figura 2.3: Esquema de um sistema de monitorização, em aplicação comercial. [19]

O funcionamento de um sistema de monitorização consiste na recolha de informações de um processo produtivo ou instalação. Tais informações são recolhidas por diversos equipamentos, como os inversores, contadores de energia, estações meteorológicas, etc, e são de seguida, tratados, armazenados, analisados e apresentados ao utilizador, através de uma interface gráfica.

A escolha do sistema de monitorização a adotar para uma determinada instalação FV está, normalmente, relacionada com o tipo de equipamentos que a constituem, dos meios de comunicação e protocolos utilizados por cada equipamento, e da sua dimensão. Desta forma, os sistemas de monitorização a instalar nos sistemas FV podem ir desde sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) complexos até sistemas básicos.

As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento dos sistemas de monitorização evoluíram bastante nos últimos anos, o que tem tornado estes sistemas cada vez mais fiáveis e robustos. Têm portanto surgido no mercado uma grande quantidade de soluções, tanto para o ambiente doméstico como para o setor industrial ou de serviços.

2.2.2 Sistemas de Monitorização disponíveis no Mercado

De modo a que o sistema FV esteja a produzir o máximo e de maneira a que o investimento efetuado seja rapidamente retornado, as empresas do setor fotovoltaico desenvolveram *software* de monitorização remota e equipamentos de aquisição e armazenamento de dados, de modo a controlar o seu desempenho e detetar anomalias.

De seguida, serão apresentados algumas das características e funcionalidades mais importantes de um conjunto de *software* e *hardware*, mais especificamente *data loggers*, atualmente existentes no mercado.

Solar-Log

A *Solar-LogTM* oferece uma vasta gama de produtos de monitorização. Relativamente aos *data loggers*, a Solar-Log disponibiliza quatro modelos destinados para diferentes tipos de instalações FV, que são o Solar-Log 200, o Solar-Log 300, o Solar-Log 1200 e o Solar-Log 2000. Na parte de *software* de monitorização, a *Solar-LogTM* apresenta dois produtos, o *Solar-LogTM WEB for Plant Owners* e o *Solar-LogTM "Commercial Edition"*. [20, 21]

O Solar-Log 250 é um *data logger* básico, desenvolvido para instalações com uma potência máxima de 10 kWp e que permite a ligação a apenas um único inversor. Este modelo é compatível com uma grande variedade de marcas e modelos de inversores e pode ser conectado ao inversor via RS-485, RS-422 ou *Ethernet*. Disponibiliza uma porta *USB* para rápidas instalações e atualizações no sistema e aprimoramento de dados. [20, 21]

O Solar-Log 300 é o modelo ideal para pequenas instalações domésticas, com uma potência máxima de 15 kWp. Este modelo permite conectar-se a um máximo de 100 inversores. Tal como o Solar-Log 250, este modelo é compatível com uma grande variedade de marcas de inversores. Adicionalmente, o Solar-Log 300 permite ainda visualizar e gerir gráficos de desempenho e alarmes através de um PC. [20, 21]

O Solar-Log 1200 (figura 2.4) é o aparelho destinado para instalações FV de pequena e média dimensão, com capacidade máxima de 100 kWp. Este *data logger* pode estar ligado a um máximo de 100 inversores e, tal como os modelos anteriores, permite conectar-se a dispositivos de marcas terceiras. O Solar-Log 1200 pode ser operado através de um PC ou diretamente, através de um ecrã tátil incorporado no aparelho. Desta forma, torna-se possível realizar as mesmas funções que se realiza no PC, diretamente no Solar-Log 1200. [20, 21]

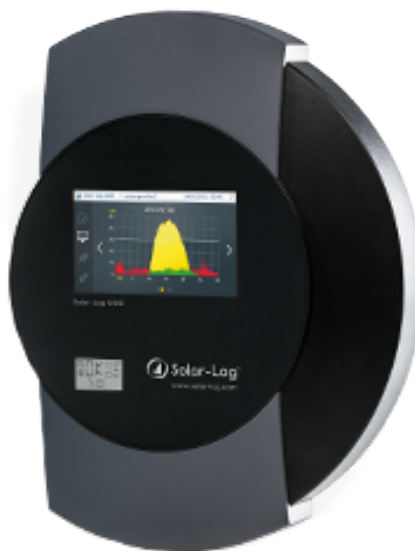


Figura 2.4: Solar-log 1200.[20]

Por último, o modelo Solar-Log 2000, foi desenvolvido para a monitorização de sistemas de grande dimensão, com capacidade máxima de 2000 kWp. Este *data logger* pode ser utilizado para conectar uma grande variedade de aparelhos por RS-485, RS-422, *Ethernet*, CAN, entre outros. Para além disto, fornece ainda um sistema anti-furto para proteção da instalação do cliente contra atos de roubo e vandalismo. [20, 21]

Relativamente ao *software* de monitorização disponibilizado pela *Solar-LogTM*, o *Solar-LogTM WEB for Plant Owners* vem com duas edições que são adaptadas às necessidades do cliente, o *Solar-LogTM WEB* e o *Solar-LogTM WEB Classic 2nd Edition*. A primeira edição, o *Solar-LogTM WEB*, é ideal para o cliente que não tem qualquer tipo de conhecimento técnico e não quer investir tempo na monitorização e manutenção. O *Solar-LogTM WEB* caracteriza-se por ter um profissional a supervisionar a instalação do cliente e, no caso de ocorrer algum problema, ser informado,

sendo de seguida oferecidas as soluções possíveis para resolver o problema. O cliente pode, no entanto, aceder à plataforma *online* para analisar o desempenho da sua instalação. Este produto permite visualizar os valores de produção e consumo, o contributo ambiental e previsões meteorológicas. Para além disso, é possível analisar o histórico de produção em períodos diários, mensais, anuais e desde o período de funcionamento. [20, 21]

A segunda edição, o *Solar-Log™ WEB Classic 2nd Edition*, disponibiliza funções básicas de monitorização em que é possível analisar vários parâmetros em períodos diários, semanais, anuais e desde o seu período de funcionamento. Para além disso, possui uma base de dados de problemas que possam ocorrer na instalação que são detetados automaticamente e apresentados ao cliente. [20, 21]

O *Solar-Log™ "Commercial Edition"*, o segundo produto, foi desenvolvido para instaladores e fornecedores de serviços. Através deste produto, os instaladores e distribuidores podem oferecer um serviço de monitorização ao cliente, disponibilizando profissionais para monitorizar o desenvolvimento da sua instalação FV. O *Solar-Log™ "Commercial Edition"* permite a visualização de gráficos de consumo, produção, do balanço consumo-produção, entre outros, para o período temporal pretendido, podendo ser discriminado por *string*. Este disponibiliza ainda um relatório de eventos e alarmes semelhante ao da versão *Solar-Log™ WEB Classic 2nd Edition*. [20, 21]



Figura 2.5: Dashboard do Solar-Log™ "Commercial Edition".[20]

A Solar-Log™ disponibiliza uma aplicação para telemóvel, a Solar-Log™ APP, que oferece aos clientes uma visualização gráfica das instalações FV que estão conectadas ao *Solar-Log™ WEB Classic 2nd Edition* ou ao *Solar-Log™ "Commercial Edition"*. [20, 21]

À semelhança da *Solar-LogTM*, a ABB (ASEA Brown Boveri) apresenta produtos de monitorização a nível de *software* e *hardware*. No que respeita a *software*, a ABB possui o *Aurora Vision Plant Management Platform* que inclui as plataformas *Plant Portfolio Manager*, *Plant Viewer* e a aplicação para telemóvel *Plant Viewer for Mobile*. Relativamente aos *data loggers*, a ABB possui o VSN700 Data Logger que se encontra disponível em três modelos, o VSN700-01, VSN700-03 e o VSN700-05.[22, 23]

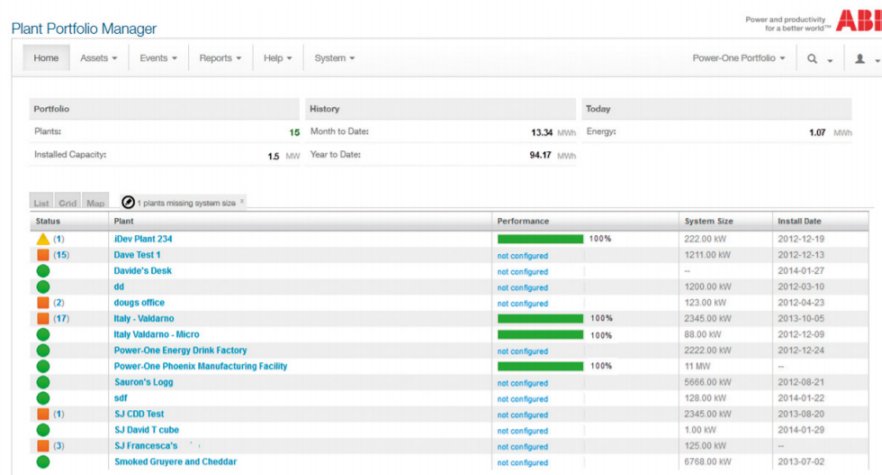


Figura 2.6: *Plant Portfolio Manager* [23]

O VSN700-01 Data Logger é o modelo dirigido para aplicações residenciais, tendo a capacidade de monitorizar até cinco inversores monofásicos. O VSN700-01 Data Logger permite aceder ao *Aurora Vision Plant Management Platform* para visualização e gestão dos dados recolhidos no sistema FV. Este modelo é de instalação fácil e disponibiliza atualizações pela *internet*. O VSN700-01 Data Logger é apenas compatível com inversores da própria marca. [22]

O VSN700-03 Data Logger é mais apropriado para pequenas instalações comerciais, com a capacidade de monitorizar até dez inversores monofásicos e trifásicos, e uma estação meteorológica, mais especificamente, o modelo *VSN800 Weather Station* da própria marca. Tal como o modelo anterior, o VSN700-03 Data Logger apenas suporta os inversores da própria marca. [22]



Figura 2.7: VSN700 Data Logger [22]

Por último, o VSN700-05 Data Logger é o modelo indicado para instalações de média ou grande dimensão. Para além de não possuir limites quanto ao número de inversores da ABB a monitorizar, este modelo fornece ainda um serviço de gestão dos dados do cliente e disponibiliza funções de comando e controlo dos inversores ligados a este. Tem ainda a capacidade de suportar outros tipos de equipamentos (contadores, estações meteorológicas, entre outros) da marca ABB e de outras marcas, e de integrar sistemas de monitorização SCADA. [22]

De modo a assegurar a comunicação do VSN700 com os restantes equipamentos do sistema FV e com o *software* de monitorização, as ligações são feitas via RS-485, RS-232 e cabo *Ethernet*, respeitando os protocolos *Aurora Protocol*, desenvolvido pela própria marca, o Modbus RTU e o Modbus TCP. [22]

2.3 Meios e Protocolos de Comunicação

De modo a que um sistema automatizado funcione corretamente, é essencial garantir a ligação entre o sistema e o meio em que este se encontra inserido. A comunicação é uma característica muito importante em todos os sistemas automatizados, permitindo a troca de informação entre os sistemas e o meio envolvente. Estas informações são transmitidas para o sistema através de sinais elétricos. Este conceito de comunicação entre sistemas e sensores aplica-se também ao sistema de monitorização. Isto mostra a grande necessidade de haver coordenação entre todos os elementos. Desta forma, as redes de comunicação assumem assim um papel importante na interação de todas as áreas, garantindo que a troca de dados seja eficiente e eficaz, contribuindo para funcionamento correto das várias áreas. [24, 25]

Graças à evolução dos meios de comunicação e à adoção de um conjunto de protocolos de comunicação comuns, é possível estabelecer qualquer tipo de comunicação entre um servidor de dados e qualquer equipamento de campo, independentemente da diferença a nível de fabricantes. [25]

De seguida serão descritos os meios físicos para que seja possível a realização de comunicação entre o *data logger* estudado nesta dissertação e os vários equipamentos presentes na UPAC fotovoltaica, assim como os protocolos de comunicação que possibilitam tal interação.

2.3.1 Modelo OSI - Visão Geral

O modelo de referência OSI resulta de um projeto de grande envergadura criado pela Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization*, ISO), entre os anos 70 e 80. [25, 26]

O objetivo deste modelo de referência é proporcionar uma base comum à coordenação do desenvolvimento de normas para a interligação dos sistemas, assegurando ao mesmo tempo a sua continuidade através da consideração dos sistemas atuais, enquadrando-os no modelo de referência. [25, 26]

De acordo com o modelo OSI, os sistemas de comunicação de dados são descritos por um modelo hierárquico que consiste em sete camadas de diferentes funcionalidades, abrangendo o equipamento de interface com os meios físicos (cabos de cobre, fibra ótica, entre outros), até aos protocolos de aplicação (navegação na *internet*, correio eletrónico, entre outros). A figura 2.8 representa as diversas camadas constituintes do modelo ISO. [25, 26]

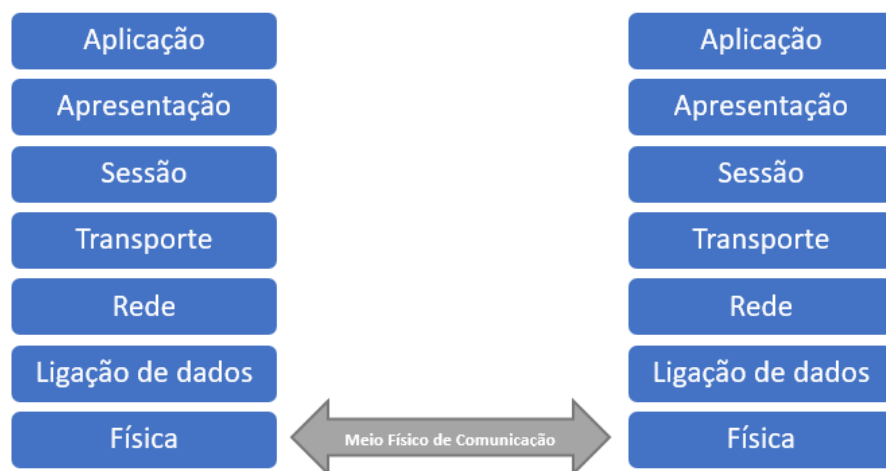


Figura 2.8: Camadas do modelo OSI.

Neste tipo de estruturas, os dados não são transferidos diretamente ao outro nó, mas vão "descendo" através de cada camada até ao nível físico, para depois "subir" através de cada camada do nó recetor.

A camada física constitui a interface com o meio físico de comunicação e define a forma como a representação lógica da informação (os *bits*, com valor lógico 0 ou 1) são transformados em símbolos físicos (corrente ou tensão elétrica) que viajarão no meio físico utilizado. É neste que é decidida a duração das transmissões, se esta é *simplex*, *half-duplex* ou *full-duplex*, como será iniciada e finalizada e até quantos pinos terá o conector. [25, 26]

A camada de ligação de dados tem como objetivo detetar e opcionalmente corrigir os erros que podem ocorrer na camada física. Esta camada converte todos os pacotes provenientes do canal de transmissão que possam não estar em boas condições, num resultado digno para o uso posterior da camada de rede. [25, 26]

A camada de rede é responsável por endereçar as mensagens e traduzir endereços lógicos em físicos e vice-versa. A camada de rede é também responsável por gerir o tráfego na rede e onde se define a sua topologia. [25, 26]

A camada de transporte assegura as transmissões e a sua qualidade. Esta camada tem como função garantir que os pacotes são entregues sem erros, sem perdas e na sequência correta, mantendo assim a integridade dos dados. [25, 26]

A camada de sessão tem como função estabelecer conexões entre dois computadores. Tem como objetivo realizar a sincronização (controlo do fluxo de dados) e estabelecer o tipo de comunicação (o que transmite, quando, por quanto tempo, etc.). É também responsável pela marcação dos dados, de maneira a que, no caso de haver uma quebra no envio ou receção dos dados, estes continuem a ser enviados a partir do momento da quebra mal a conexão seja reposta. [25, 27]

A camada de apresentação atua como tradutor da rede. Nesta camada é feita a compressão e descompressão dos dados e as conversões de caracteres, ou seja, "traduz-se" a informação recebida pela camada de aplicação para a camada de sessão e vice-versa. [25, 27]

A camada de aplicação comunica com o *software*, respondendo diretamente aos protocolos que solicitam dados, quer sejam de transferência de ficheiros, de navegação na *internet*, entre outros. [25, 27]

2.3.2 Meios Físicos de Transmissão de Dados

Os meios físicos de transmissão de dados, ou simplesmente meios de transmissão, são um dos principais componentes dos sistemas de monitorização. Os meios de transmissão podem ser agrupados em três grupos: meios de transmissão metálicos (cabo coaxial e cabo de pares trançados), meios de transmissão de fibra ótica e meios de transmissão sem fios (*Wireless*). [25]

De seguida, será feita uma apresentação da panóplia de meios físicos de comunicação disponíveis para a construção de uma cablagem.

Cabo coaxial

Nos cabos coaxiais os sinais elétricos são conduzidos através de um condutor metálico, instalados de forma concêntrica relativamente a uma blindagem exterior envolvente, normalmente constituída por uma malha metálica. O espaço entre o condutor central e a blindagem é preenchido por um isolante. A blindagem exterior é também revestida por um material isolante e protetor. Na figura 2.9 são representados os constituintes de um cabo coaxial.[25, 26]

Com este tipo de cabos, usamos conectores BNC (*Bayonet Nut Coupling*) para ligar as estações ao cabo. Na figura seguinte é possível observar um conector BNC, composto por um corpo central com um pino onde se liga o fio de cobre interno do cabo coaxial. Esse corpo interno é envolto por uma segunda camada metálica.[26]

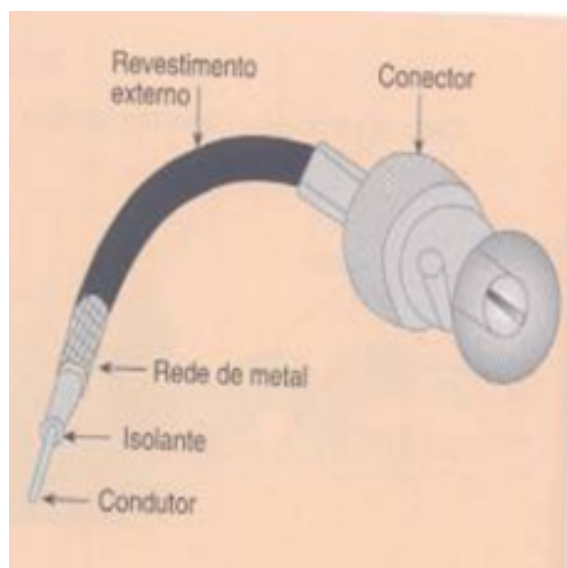


Figura 2.9: Constituintes de um cabo coaxial. [28]

Cabo de pares trançados

O cabo de pares trançados consiste em vários fios condutores isolados, entrançados aos pares. Por sua vez, esses pares entrançados são cobertos por um isolamento. Existem três tipos de cabos: os UTP (*Unshielded Twisted-Pair*), STP (*Shielded Twisted-Pair*) e o FTP (*Foiled Twisted Pair*). [25, 26]

- **Cabo UTP** - designação dos cabos sem qualquer tipo de blindagem individual ou coletiva. O UTP é mais barato, mas, em contrapartida, tem uma menor proteção contra interferências eletromagnéticas que o STP;
- **Cabo STP** - designação dos cabos com blindagem exterior envolvente de todos os pares e com blindagem individual em cada par. Este tipo de cabo é mais caro, mas oferece uma melhor proteção contra interferências eletromagnéticas;
- **Cabo FTP** - abrangem os cabos com uma proteção exterior constituída por uma fita metálica (*foil*) enrolada em torno dos condutores.

Este cabo tem os pares trançados para minimizar os efeitos das interferências electromagnéticas, que são normais quando cabos que transportam sinais electromagnéticos se encontram muito perto uns dos outros, servindo também para minimizar os efeitos de interferências externas.[25, 26]

Este cabo divide-se em várias categorias que vão, atualmente, desde a categoria 1 à categoria 7. De seguida é apresentada uma tabela com as principais características elétricas de todas as categorias. [25]

Categoria	Largura da Banda	Velocidade de Transmissão Máx.	Utilização
Cat 1	0.4 Mhz	1 Mbps	Telefones
Cat 2	4 Mhz	4 Mbps	Token Ring
Cat 3	16 Mhz	10 Mbps	10Base-T Ethernet
Cat 4	20 Mhz	16 Mbps	16 Mbps Token Ring
Cat 5	100 Mhz	100 Mbps	Ethernet, FastEthernet e Token Ring
Cat 5e	125 Mhz	1000 Mbps	Ethernet, FastEthernet e Gigabit Ethernet
Cat 6	250 Mhz	10 Gbps	Gigabit Ethernet e 10G Ethernet
Cat 6a	500 Mhz	10 Gbps	Gigabit Ethernet e 10G Ethernet
Cat 7	600 Mhz	10 Gbps	Gigabit Ethernet e 10G Ethernet
Cat 7a	1 Ghz	10 Gbps	Gigabit Ethernet e 10G Ethernet

Figura 2.10: Categorias dos cabos de pares trançados.

Para ligar o cabo de par trançado usamos conectores de acrílico do tipo RJ (*Registered Jack*), sendo neste caso o RJ-45, que tem quatro pares, ou oito fios. A conexão entre o cabo de pares trançados e o RJ-45 segue uma norma definida pela EIA/TIA (*Electric Industries Association* e a *Telecommunication Industries Association*) conhecida como T568A e T568B. Ambas as normas estabelecem como a sequência dos fios condutores deverá ser montada para conexão com o RJ-45. [26, 29]

Cabo de fibra ótica

Neste tipo de meios de comunicação, o transporte da informação é suportada pela codificação de um feixe de luz, em vez de um fluxo elétrico como nos meios de transmissão descritos anteriormente. O sinal luminoso é gerado por um dispositivo optoeletrônico, um díodo LED (*Light-Emitting Diode*) ou por um emissor laser. O cabo ótico com transmissão a laser é o mais eficiente em potência devido à sua reduzida espessura. Já os cabos com díodo LED são muito mais baratos e têm um ciclo de vida maior que o de laser. [25, 26]

As fibras óticas usadas em comunicações são constituídas por um núcleo central cilíndrico em vidro de silício ou plástico, rodeado por uma bainha envolvente do núcleo. A bainha é também de silício (ou outro material com características óticas idênticas), mas possui um índice de refração inferior ao do núcleo. O exterior da bainha é envolvido por um revestimento protetor. O fato de o índice de refração da bainha ser inferior ao do núcleo, faz com que a luz introduzida numa das extremidades da fibra ótica seja conduzida, através do núcleo, até à outra extremidade. [25, 26]

Apesar de serem mais caros, os cabos de fibra ótica não sofrem interferências provocadas pelos ruídos eletromagnéticos, permitindo um isolamento total entre o transmissor e o recetor. Desta forma, caso seja desejado ter uma rede segura, preservar dados de qualquer tipo de ruído e ter uma elevada velocidade de transmissão de dados, os cabos de fibra ótica são uma ótima opção. [25, 26]

As características de propagação ótica de uma fibra dependem das características e dimensões do seu núcleo, sendo este aspeto utilizado para agrupar as fibras utilizadas em comunicações óticas em duas famílias: fibras óticas monomodo e multimodo. [25, 26]

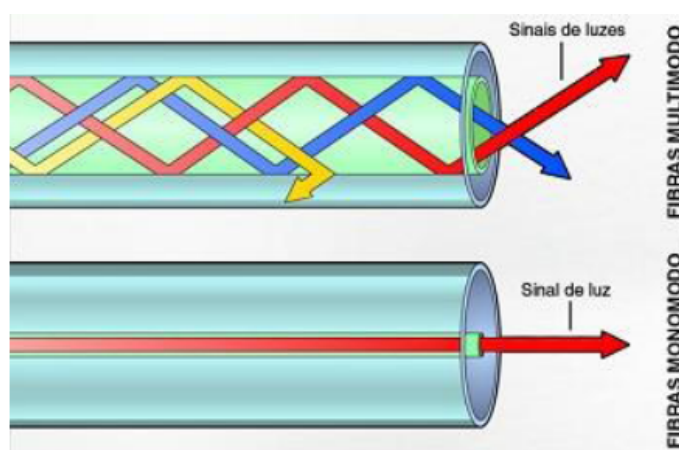


Figura 2.11: Fibra ótica monomodo e multimodo. [30]

As fibras monomodo são adequadas para aplicações que envolvam grandes distâncias, embora requeiram conetores de maior precisão e dispositivos de alto custo. Nas fibras monomodo, a luz possui apenas um modo de propagação, ou seja, a luz percorre o interior do núcleo apenas por um caminho. As fibras multimodo possuem um diâmetro do núcleo maior do que as fibras monomodo, de modo a que a luz tenha vários modos de propagação, ou seja, a luz percorre o interior da fibra ótica por diversos caminhos. [25, 26]

Wireless

As comunicações sem fios, ou *Wireless*, consistem num sistema de transmissão de dados flexível que pode ser utilizado como alternativa aos meios físicos referidos anteriormente. Esta é uma tecnologia que permite a conexão entre equipamentos sem uma conexão física direta, tornando-se, neste caso, uma boa opção para situações onde exista necessidade de mobilidade de pontos dentro de uma rede e/ou existam dificuldades de implementação de cablagem. [27, 25]

Da enorme diversidade de meios de comunicação sem fios disponível, e no que respeita às aplicações na construção de redes informáticas, pode ser definido um conjunto mais limitado de opções tecnológicas como a rádio frequência, infravermelho, microondas, laser e satélite. [27, 25]

As redes baseadas em infravermelhos ou laser utilizam a mesma tecnologia usada em dispositivos de controlo remoto (de TV, gravadores de vídeo, entre outros). Desta forma, os raios infravermelhos podem ser usados para transmitir sinais digitais entre computadores, exigindo que os mesmos se encontrem relativamente próximos uns dos outros, bem como a inexistência de obstruções físicas no espaço onde os sinais circulam. [27, 25]

A transmissão de dados através de ondas de rádio ou micro-ondas é realizada recorrendo a operações de modulação (e posterior desmodulação no recetor) de uma fonte de radiação eletromagnética. A constituição de redes baseadas em ondas de rádio ou micro-ondas implica a instalação de antenas ou dispositivos de emissão e receção, que devem estar em linha de vista para transmitir e receber os sinais. [27, 25]

A transmissão de dados via ondas de satélite implica antenas parabólicas, ou seja, dispositivos de transmissão capazes de efetuar *uplinks*, emissões da terra para o satélite, e *downlinks*, receções do satélite para a terra. [27, 25]

2.3.3 RS-485

O padrão RS-485, publicada em 1992 pela EIA, é um padrão para comunicação serial de dados binários entre um equipamento emissor e um recetor. Este trata-se de uma evolução dos padrões RS-232, RS-422 e RS-423, que também foram introduzidos pela EIA. O RS-485 define as características elétricas (nível de sinal e os seus respetivos valores) e mecânicos (tipo de conetores e sua respetiva pinagem). O RS-485 é baseado na transmissão diferencial de dados, através de um

par de fios trançados, o que torna a comunicação imune a ruídos, sendo ideal para transmissão de dados com velocidades elevadas, a longas distâncias e em ambientes propícios a interferência eletromagnética, como é o caso das instalações FV. O RS-485 não define qual o protocolo a ser utilizado para a comunicação de dados, e é adotado como especificação da camada física de diversos protocolos, como por exemplo, Modbus, Profibus e muitos outros. O padrão RS-485 integra a camada física do modelo de referência OSI, como é possível observar na tabela 2.2. [31]

Tabela 2.2: RS-485 em relação ao modelo OSI.

Nível	Modelo OSI	
7	Aplicação	
6	Apresentação	
5	Sessão	
4	Transporte	
3	Rede	
2	Dados	
1	Física	RS485

O RS-485 permite a comunicação de um máximo de 32 dispositivos à mesma linha de transmissão de dados, sendo cada um deles composto por um emissor e um recetor. Caso seja necessário uma comunicação superior a 32 dispositivos, recorre-se à instalação de um repetidor. Em cada extremidade da linha de dados é necessário a colocação de uma resistência entre as linhas de comunicação A e B, de maneira a obter valores de corrente equilibrados entre os dois condutores. O valor da resistência é igual ao da impedância do cabo, normalmente 100 a 120 ohms. A figura seguinte demonstra um exemplo de uma ligação RS-485 *multi-drop*. [31]

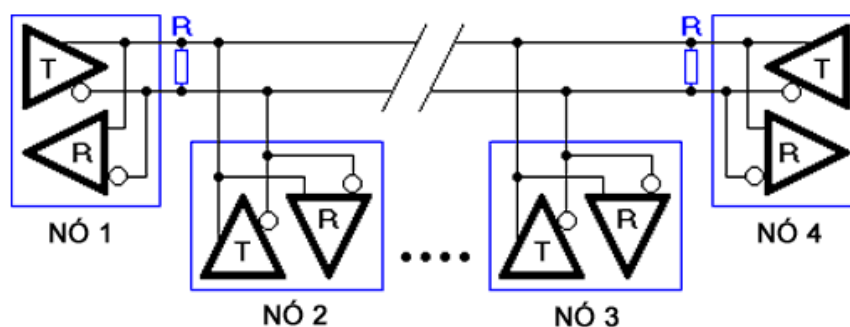


Figura 2.12: Exemplo de uma ligação RS-845 *multi-drop*. [32]

O padrão RS-485 é baseado na transmissão diferencial balanceada de dados, em que o nível lógico é determinado pela diferença de tensão entre os dois condutores e o sinal de referência

lógico 0 (*GND*). Desta forma, transmite-se um nível lógico "1" quando a tensão no condutor A for positiva e a do condutor B negativa. Da mesma maneira, transmite-se o nível lógico "0", quando a tensão no condutor A for negativa e no condutor B for positiva, como é possível verificar na figura 2.13. [33]

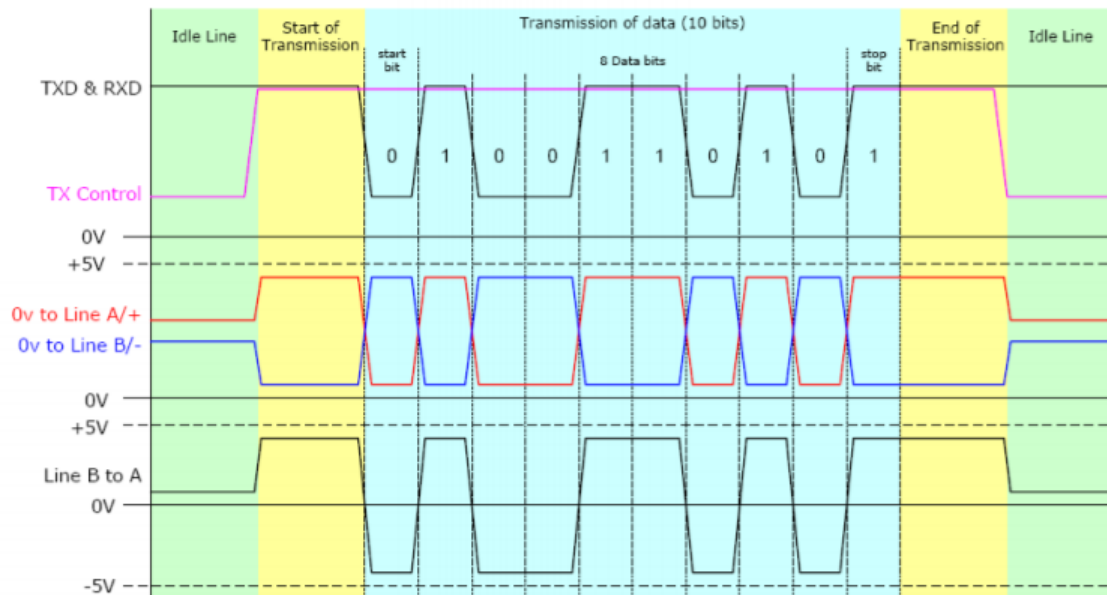


Figura 2.13: Forma de onda RS-485. [34]

A velocidade de transmissão serial é expressa em bits por segundo (bps), ou baud (*baud rate*), e representa quantos bits podem ser transmitidos por segundo. Na figura 2.14, é possível verificar a relação entre velocidade de transmissão de dados e o comprimento dos cabos. Observa-se que quanto mais elevada é a velocidade de transmissão, menor deverá ser o comprimento do cabo e vice-versa. A velocidade máxima de transmissão para o RS-485 é de 10 Mbps quando o cabo possui um comprimento de 10 metros ou aproximadamente 100 kbps caso o seu comprimento seja de 1200 metros. [31]

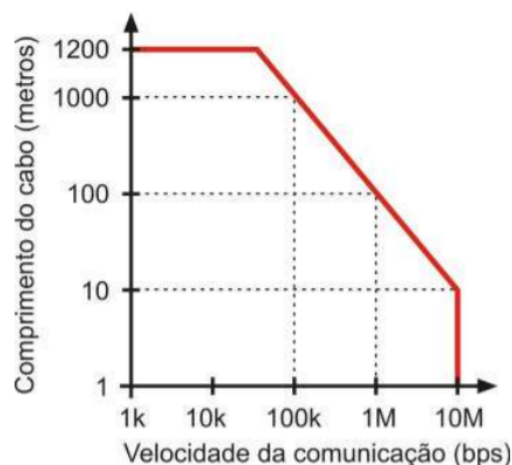


Figura 2.14: Relação entre o comprimento de cabo e a velocidade de transmissão.[35]

2.3.4 Ethernet

A *Ethernet* é uma tecnologia de redes locais, rede de área local (*LAN - Local Area Network*), que foi desenvolvida em 1973 por Bob Metcalf, tendo sido posteriormente normalizado pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) como norma IEEE 802.3. Metcalf desenvolveu um método de cablagem que liga vários dispositivos a um barramento e os protocolos que regulam a comunicação através do cabo. [24, 25, 27]

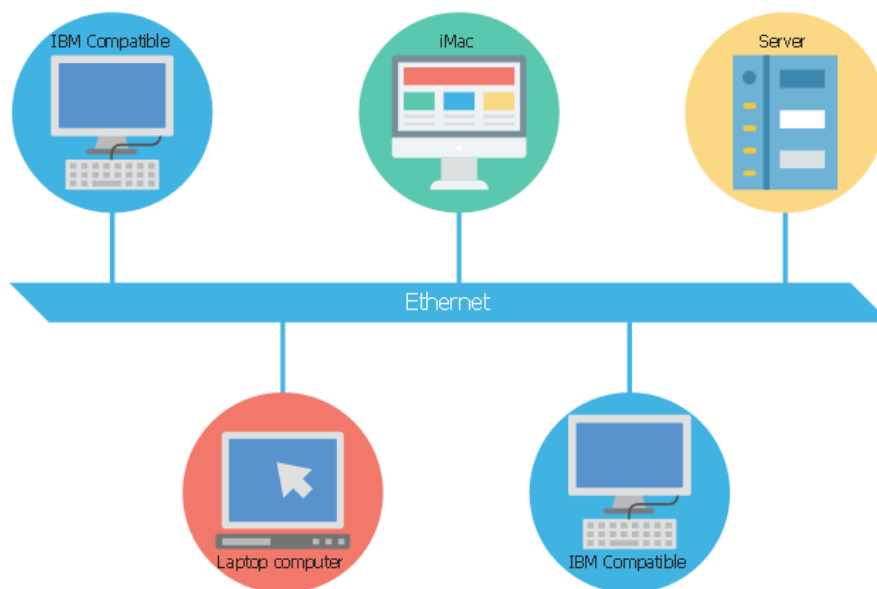


Figura 2.15: Rede Ethernet. [36]

A *Ethernet* obedece a regras simples que regulam a sua operação. Os dispositivos *Ethernet* ligam-se a um meio físico comum, que fornece um caminho através do qual os sinais elétricos

circulam (figura 2.15). Esse meio pode ser um fio de cobre, o cabo de par entrançados ou a fibra ótica. Em qualquer dos casos, um meio físico partilhado designa-se por segmento *Ethernet*, e os dispositivos a ele ligados são os nós. Os nós comunicam através de mensagens chamados quadros, ou *frames*, que são pedaços de informação de tamanho variável. Cada quadro inclui um endereço de destino e um endereço de fonte. O endereço identifica unicamente o nó. Cada dispositivo tem de ter um nome diferente do outro. [24, 25, 27]

A *Ethernet* inclui a camada física e a camada de ligação de dados do modelo OSI. A camada de ligação de dados subdivide-se em LLC (*Logical Link Control*) e MAC (*Media Access Control*). O papel da sub-camada LLC é adicionar informações do protocolo responsável por entregar os dados a ser transmitido, para que a camada de LLC do recetor consiga entregar a informação ao protocolo de destino, e ler essa informação corretamente. A sub-camada MAC é responsável pela gestão de acesso ao meio físico. [24, 27]

Tabela 2.3: Ethernet em relação ao modelo OSI.

Nível	Modelo OSI	
7	Aplicação	
6	Apresentação	
5	Sessão	
4	Transporte	
3	Rede	
2	Dados	LLC (<i>Logical Link Control</i>)
		MAC (<i>Media Access Control</i>)
1	Física	Física

A enorme divulgação da tecnologia *Ethernet* levou a um baixo custo e a uma grande maturidade, que se tornaram, por sua vez, no principal fator para a sua manutenção no mercado. O suporte de diferentes meios físicos e diferentes velocidades levou ao aparecimento de diversas variantes de *Ethernet*, designadas por *xBase-y*, em que o *x* indica a velocidade com que é feita a transmissão dos dados, *Base* vem de transmissão banda de base, que refere como o sinal é transportado, e o *y* representa um número ou letra que identifica o tipo de meio físico utilizado. Descreve-se de seguida os padrões atuais do protocolo *Ethernet*, padronizadas pelo IEEE. [24, 25, 27]

- **10Base-T Ethernet (IEEE802.3)**

As especificações iniciais de *Ethernet* impunham uma velocidade de transmissão de 10 Mbps e a utilização de cabo coaxial e conectores de custo elevado. A esta variante, designada 10-Base-5, sucederam-se outras, nomeadamente a 10-Base-2 (para cabo coaxial

fino e conectores BNC, de baixo custo), 10-Base-T (para utilização de um meio físico em par entrançado) e 10-Base-FL/10-Base-FB (para fibra ótica). [24, 25]

Está na base do enorme crescimento da utilização das redes *Ethernet* o desenvolvimento da variante 10-Base-T. A possibilidade de utilizar cabos de cobre UTP, S/UTP ou STP foi o fator decisivo para o sucesso desta tecnologia. O desenvolvimento das variantes para fibra ótica, 10-Base-F e 10-Base-FB, foi também essencial, dada a necessidade de percorrer distâncias cada vez maiores. [24, 25]

As especificações das variantes de *Ethernet* impõem algumas limitações em termos de comprimentos, números de segmentos e números de nós. Essas limitações tinham como objetivo garantir que a rede local não fosse demasiado grande - em termos de atraso de propagação de dados - o que poderia levar a que a detecção de colisões não fosse feita dentro do limite temporal estabelecido. [24, 25]

- **Fast Ethernet (IEEE802.3u)**

A necessidade crescente de largura de banda levou ao desenvolvimento de tecnologia *Ethernet* a 100 Mbps, normalmente designada *Fast Ethernet*, especificada na norma IEEE 802.3u. [24, 25]

De modo a possibilitar a velocidade de transmissão a 100 Mbps, as especificações iniciais sofreram alterações em termos de tamanho máximo dos segmentos e da rede, bem como alterações de codificação. [24, 25]

Para além de possibilitar uma velocidade de transmissão consideravelmente superior, a tecnologia *Fast Ethernet* apresenta outras vantagens, das quais são de destacar o baixo custo (aproximadamente duas vezes o custo da *Ethernet* a 10 Mbps), a capacidade de escolher a velocidade a utilizar (10 ou 100 Mbps) ou o funcionamento em *full-duplex*. [24, 25]

O desenvolvimento de soluções comutadas, isto é, soluções baseadas em *switchs*, foi feito a par do desenvolvimento do *Fast Ethernet*. As soluções comutadas apresentaram uma revolução da tecnologia das redes *Ethernet* possibilitando que cada estação ligada a um porto de um *switch* passasse a dispor de toda a largura de banda (10 ou 100 Mbps). Conjugada com o funcionamento em *full-duplex*, as soluções comutadas eliminaram os problemas de colisão da transmissão de dados. [24, 25]

Algumas das variantes de *Ethernet* a 100 Mbps mais conhecidos são o 100-Base-TX e o 100-Base-FX. O 100-Base-TX apresenta uma velocidade de 100 Mbps, usando 2 pares de fios trançados de alta qualidade e está limitado a 100 metros de comprimento máximo dos segmentos. Já o 100-Base-FX distingue-se por utilizar fibra ótica e possuir um limite de 2000 metros de comprimento. [24, 25]

- **Gigabit Ethernet (IEEE802.3z)**

O trabalho de desenvolvimento de especificações para *Ethernet* a 1 Gbps decorreu entre 1996 e 1999, no âmbito da *task force* 802.3z do IEEE e da *Gigabit Ethernet Alliance*, da qual fizeram parte várias companhias como a Intel, Compaq, entre outros. [24, 25]

As características essenciais das especificações desenvolvidas são a compatibilidade com as tecnologias *Ethernet* a 10 e a 100 Mbps, relativamente ao formato dos quadros (formato *standard* 802.3), e o funcionamento em *half-duplex* e *full-duplex*, a 1 Gbps. [24, 25]

O 1000-Base-T funciona a 1 Gbps e utiliza 4 pares de fios trançados UTP categoria 5, com comprimento máximo de 100 metros. O 1000-Base-X utiliza fibra ótica. A fibra pode ser até 220 metros de comprimento, se for multimodo e até 5 km, se for monomodo. [24, 25]

- **10 Gigabit Ethernet (IEEE802.3ae)**

Foi publicado em 2002 e define uma versão da *Ethernet* com uma velocidade de transmissão de dados de 10 Gbps, dez vezes mais rápido que a versão anterior de 1 Gbps. A 10 Gb *Ethernet* está a ser implementada rapidamente em LAN's, MAN's (*Metropolitan Area Networks*) e WAN's (*Wide Area Network*) devido ao seu grande potencial de transmissão de dados e ao seu longo alcance. O modo de transmissão do 10 Gbps *Ethernet* é, única e exclusivamente, *full duplex* e o meio físico para transmissão recomendado é a fibra ótica. [24, 25]

Relativamente ao quadro *Ethernet*, este é dividido nos campos da figura 2.16. Os principais campos podem ser descritos da seguinte maneira: [24, 25, 27]

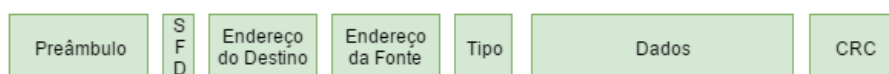


Figura 2.16: Quadro Ethernet.

- **Preâmbulo** - 7 bytes com padrão 10101010 que permite a sincronização do transmissor e recetor;
- **SFD (*Start Frame Delimiter*)** - Delimita o início de um quadro com padrão 10101011;
- **Endereço do Destino** - Campo que contém o endereço do destinatário dos dados;
- **Endereço da Fonte** - Campo que contém o endereço do remetente;

- **Tipo** - Especifica o protocolo da camada 3 ao qual deve ser entregue os dados;
- **Dados** - Contém os dados a ser transmitidos;
- **CRC (Cyclic Redundancy Check)** - Código de detecção de erros.

2.3.5 Modbus

O protocolo Modbus foi desenvolvido pela *Modicon*, atual *Schneider Electric*, e introduzida no mercado no final da década de 1970, mais especificamente em 1979. Este protocolo foi desenvolvido com o objetivo de transferir informação de entrada e saída entre dispositivos e um sistema de supervisão. O facto de ser considerado um protocolo "aberto" de utilização gratuita, de fácil implementação e com bastantes anos de mercado, deu origem a que atualmente exista um grande número de fabricantes em todo o mundo que providenciam os seus dispositivos com a capacidade de comunicar em *Modbus*. [31]

O Modbus é um protocolo de aplicações de mensagens, inserido na camada de aplicação do modelo OSI, que permite a comunicação mestre-escravo, ou cliente-servidor, entre dispositivos conectados a diferentes tipos de barramentos ou topologias de rede. A comunicação é sempre iniciada pelo cliente e suporta até 247 servidores, sendo cada um identificado por um endereço distinto. Algumas das características deste protocolo são fixas, como o formato das mensagens, a sequência, as funções que executa e a detecção de erros. Outras características são seleccionadas pelo utilizador, como por exemplo, o modo de transmissão, a velocidade de transmissão, o número de *stop bits*, entre outros. Quanto a nível físico, ao contrário de outros protocolos, no Modbus nenhuma interface é definida. Como se verifica na figura 2.17, é possível optar entre o RS-232, RS-422, RS-485, *Ethernet*, entre outros. [31]

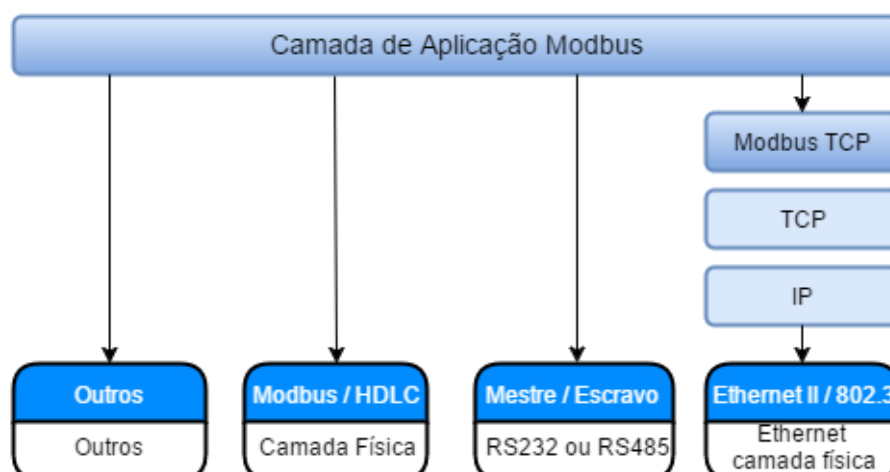


Figura 2.17: Estrutura das camadas do protocolo Modbus.

Analisando novamente a figura anterior, apesar de ser um protocolo da camada de aplicação, o Modbus apresenta três principais variantes nas camadas inferiores. A primeira variante é o Modbus em série, que se divide em dois modos de transmissão, o RTU (*Remote Terminal Unit*) e o ASCII (*American Standard Code for Information Interface*). A segunda é o Modbus TCP (*Transmission Control Protocol*), que utiliza uma rede *Ethernet* para o efeito. Por último, temos a variante Modbus Plus. É também possível considerar outras variantes do Modbus, onde vários fabricantes efetuaram alterações ao protocolo, segundo as suas necessidades. [31]

- **ModBus RTU** - Modo de transmissão que é incorporado na comunicação série. Este tipo de modo é utilizado quando a informação é transmitida em formato binário;
- **Modbus ASCII** - Também utilizado na comunicação série, sendo que se diferencia da variante anterior na codificação da mensagem que passa do formato binário para a codificação ASCII;
- **Modbus TCP** - Modo de transmissão que, como o seu nome indica, assenta na transmissão TCP/IP, onde os dados são convertidos em formato binário em tramas TCP, para utilização na *Ethernet*;
- **Modbus Plus** - Este modo aplica recursos adicionais face ao anterior, sendo ainda um protocolo fechado, ao contrário dos anteriores, podendo ser utilizado sob licença do fabricante.

2.3.5.1 Modbus RTU e ASCII

O protocolo Modbus em linha série é um protocolo mestre-escravo. Isto significa que existe apenas um mestre simultaneamente ligado ao barramento. Dependendo da interface física que se esteja a utilizar, um ou mais escravos podem estar simultaneamente ligados ao mesmo barramento. [31]

O Modbus pode usar vários tipos de interfaces, como é o caso do RS-232 e RS-485. Em RS-232, como é uma comunicação ponto a ponto, apenas existe um mestre e um escravo. Em RS-485 é possível ter vários escravos, mas apenas um único mestre. [31]

A comunicação é sempre iniciada pelo mestre. Os escravos nunca transmitem dados, a menos que isso lhes seja solicitado. Um mestre pode solicitar informação de qualquer escravo utilizando as seguintes vias: [31]

- Modo *unicast*: o mestre envia a requisição a um determinado escravo. Depois de receber e processar a requisição, o escravo envia uma resposta para o mestre.

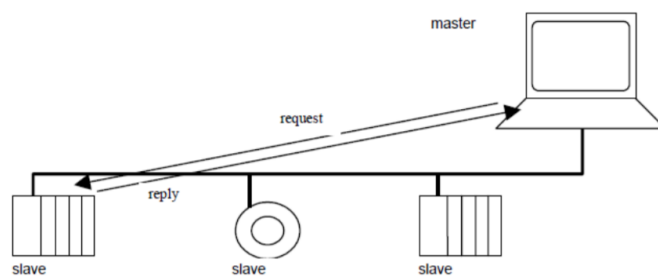


Figura 2.18: Modo *unicast*. [37]

- Modo *broadcast*: o mestre envia uma requisição para todos os escravos. Estes, ao receberem a requisição, executam-na, mas nenhuma resposta é retornada ao mestre.

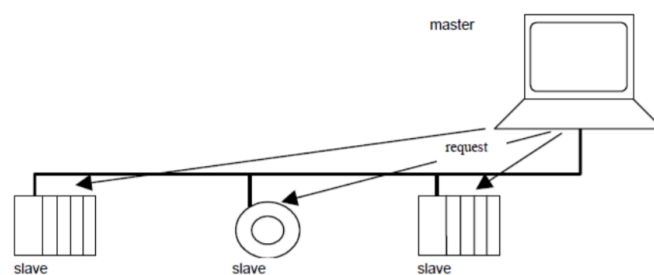


Figura 2.19: Modo *broadcast*. [37]

A construção da mensagem do protocolo Modbus num determinado meio físico é realizada através da introdução de campos adicionais ao PDU (*Protocol Data Unit*) (figura 2.20). Assim, o mestre, para iniciar a comunicação com um dado escravo, constrói a mensagem adicionando ao PDU um campo com o endereço do escravo com o qual pretende comunicar, e um campo para a detecção de erros. [31]

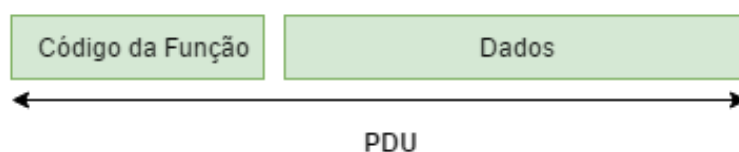


Figura 2.20: Modbus PDU.

Na comunicação Modbus em RTU, cada byte (8 bits) numa mensagem contem dois caracteres hexadecimais. Para a detecção dos erros, este utiliza o calculo CRC (*Cyclical Redundancy Check*). A grande vantagem deste modo de transmissão é a maior densidade de dados permitida para a mesma velocidade de transmissão. No modo RTU, o formato dos quadros tem o seguinte aspeto. [31]

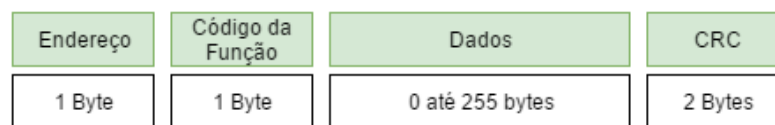


Figura 2.21: Formato de um quadro Modbus RTU.

No modo ASCII cada byte numa mensagem contém apenas dois caracteres, 1 ou 0. As mensagens são delimitadas pelos caracteres *Start-of-frames* e *End-of-frames*. A detecção de erros é realizada através do cálculo LRC (*Longitudinal Redundancy Check*). A vantagem deste modo de transmissão é a possibilidade de interpretação dos bytes nas mensagens. Um quadro ASCII tem o seguinte formato. [31]

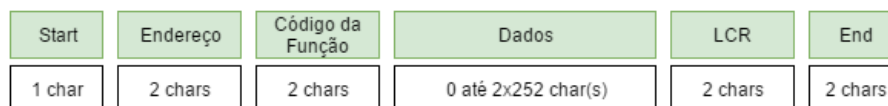


Figura 2.22: Formato de um quadro Modbus ASCII.

2.3.5.2 Modbus TCP

De maneira a aumentar o desempenho do protocolo Modbus, foi desenvolvida uma variante que utiliza a *Ethernet* como meio físico. Desta forma surgiu o Modbus TCP, ou Modbus TCP/IP, que acrescenta à simplicidade do Modbus as vantagens do TCP/IP sobre *Ethernet*. Se a rede *Ethernet* possuir ligação à *internet* é possível realizar tarefas em qualquer local como se estivesse no mesmo edifício do equipamento. [31]

A construção da mensagem do protocolo Modbus em determinado meio físico é realizada com a introdução de campos adicionais ao PDU. O cliente que inicia a comunicação constrói o PDU, ao qual adiciona os campos necessários à transmissão da mensagem no meio em questão. [31]

Em Modbus TCP é acrescentado um campo específico ao PDU do Modbus, figura 2.23, cujo nome é MBAP (*Modbus Application Protocol*). Em Modbus TCP não é utilizada a verificação de erros no quadro, de igual forma ao CRC do Modbus RTU ou LRC do Modbus ASCII. O Modbus TCP deixa a verificação dos erros no quadro a cargo dos protocolos TCP/IP e *Ethernet*. [31]



Figura 2.23: Formato de um quadro Modbus TCP.

No Modbus TCP qualquer equipamento pode ser cliente e servidor simultaneamente. Aqui é possível ter mais do que um mestre. Na configuração *Ethernet* é possível ter equipamentos ligados em *Ethernet* e outros ligados em linha série. Qualquer mestre ligado na rede *Ethernet* pode comunicar com outro equipamento ligado em qualquer local do sistema, esteja ele ligado na *Ethernet* ou ligado num barramento série. [31]

O número de escravos e mestres numa rede Ethernet depende das características dos equipamentos. Numa rede *Ethernet* é possível haver mais do que uma transação em simultâneo. É ainda possível, no caso de dois equipamentos terem características de escravo e de mestre, haver duas comunicações em curso simultaneamente entre estes dois equipamentos. [31]

Capítulo 3

Desenvolvimento

3.1 Caracterização do Local da Instalação FV

O local escolhido para a implementação do sistema fotovoltaico de autoconsumo foi o parque de estacionamento da sede da empresa Eurico Ferreira, localizado na Trofa. A figura 3.1 apresenta uma vista aérea do local da instalação fotovoltaica (ponto A) responsável por fornecer a energia a ser consumida no edifício da sede da empresa, localizado a nordeste da instalação FV (ponto B).



Figura 3.1: Localização da instalação FV e do edifício da empresa a ser alimentado. [38]

É importante referir que a imagem anterior retirada da aplicação Google Earth se encontra atualmente desatualizada, servindo apenas como referência para uma melhor perceção do local da instalação de produção FV e do edifício a ser alimentado. Atualmente, a unidade de produção FV

já se encontra instalada no parque de estacionamento, como é visível na figura 3.2, que apresenta os cobertos com os painéis fotovoltaicos montados.



Figura 3.2: Instalação FV da Eurico Ferreira na Trofa.

A obra da instalação FV foi finalizada em setembro de 2016, com 60 kW de potência instalada, sendo que a partir do dia 18 de fevereiro de 2017, a potência instalada foi aumentada para 120 kW. Os efeitos deste aumento na fatura elétrica da empresa serão analisados na última parte deste capítulo.

De momento, o sistema de monitorização deste parque é apenas composto pela ligação entre um *data logger*, que será estudado em detalhe mais à frente neste documento, e os inversores. O *data logger* foi instalado no final de novembro de 2016. Ao longo deste trabalho, estava previsto acrescentar ao sistema de monitorização uma ligação entre o *data logger* e um contador, de modo a fazer a contagem de energia consumida, para estudos a serem feitos mais tarde. Porém, devido a questões de ordem técnica, esta não foi possível ser realizada.

Neste capítulo, inicialmente, será elaborado um sistema de monitorização para unidades de produção FV para autoconsumo, servindo o atual sistema de monitorização do parque FV da empresa como referência para o seu desenvolvimento. Posteriormente, através dos dados obtidos e armazenados pelo sistema de monitorização do parque solar FV da empresa, será feito um estudo do impacto económico provocado pelo autoconsumo na fatura de eletricidade da empresa.

3.2 Sistema de Monitorização

O sistema de monitorização a ser desenvolvido será composto por um *data logger*, inversores, um contador de energia e, caso a instalação FV em questão o necessite, por um relé de proteção de interligação. O *data logger* é o componente mestre e os inversores, o contador e o relé de proteção de interligação são os componentes escravo. Desta forma, toda a informação recolhida pelos equipamentos escravo será enviada para o *data logger*, para que depois possa ser visualizada e tratada pelo utilizador.

Este subcapítulo encontra-se dividido em duas partes. Na primeira parte é feita uma breve introdução a todos os componentes do sistema de monitorização e são indicados os modelos que serviram como referência para a elaboração do sistema. Nesta parte é dada uma especial atenção ao *data logger* utilizado na instalação FV da empresa, o modelo *Smart Logger 1000* da marca *Huawei*. O *data logger* é o componente mais aprofundado, uma vez que é este que possibilita todas as ligações a serem realizadas e por ser o componente responsável pelo armazenamento dos dados das variáveis que serão utilizados na posterior análise económica.

Na segunda parte, tendo sido identificadas as interfaces e os protocolos de comunicação disponibilizados por cada um dos componentes, são apresentadas todas as ligações que são possíveis realizar, para estabelecer a comunicação entre o *data logger* e os restantes componentes. Por fim, é apresentada a solução final do sistema de monitorização e a sua integração numa UPAC tipo, com tecnologia solar fotovoltaica.

3.2.1 Componentes

3.2.1.1 Data Logger

O *data logger* trata-se de um dispositivo eletrónico que recebe dados de outros equipamentos, processa esses dados e armazena os mesmos em formato digital, permitindo ao utilizador a sua visualização e gestão. A ligação com os vários equipamentos de leitura é efetuada com recurso a interfaces e aos protocolos de comunicação. De maneira a garantir o bom funcionamento das instalações FV, o *data logger* torna-se, portanto, num dispositivo bastante relevante. De seguida é apresentado o *data logger* da *Huawei*, o *Smart Logger 1000*, utilizado na instalação FV da Eurico Ferreira.

O *Smart Logger 1000*, apresentado na figura 3.3, é um *data logger* fabricado pela *Huawei* dedicado à monitorização e gestão de sistemas FV. O *Smart Logger 1000* tem a capacidade de comunicar com vários dispositivos instalados em uma instalação FV, recolher e armazenar os dados fornecidos por esses aparelhos, e monitorizar e preservar a instalação FV a que está direcionado. A folha de características do *Smart Logger* encontra-se disponível no anexo A.1 deste documento.[39]



Figura 3.3: *Smart Logger 1000* da marca *Huawei*. [40]

O *Smart Logger 1000* apresenta as seguintes características: [39]

- **Monitorização central:**

- Tem a capacidade de monitorizar um máximo de 80 aparelhos;
- Permite ao utilizador aceder a informação relacionada com a instalação FV, dispositivos, parâmetros e alarmes através do LCD incorporado no aparelho;
- Permite ao utilizador supervisionar e gerir o sistema FV de forma remota, possibilitando deste modo, o acesso a informação em tempo-real associada à instalação FV, às falhas ocorridas e aos dispositivos constituintes, bem como definir os parâmetros desses dispositivos;

- **Visualização de dados:**

- Exibe a performance da instalação FV e outras informações de monitorização em tempo-real no LCD incorporado no dispositivo, através de gráficos e textos, e no portal de monitorização online *NetEco* (figura 3.4), disponibilizada pela *Huawei*, através de tabelas, gráficos e texto;

- **Gestão inteligente:**

- Identifica automaticamente os equipamentos da própria marca e suporta a conversão de protocolos para equipamentos de outras marcas;
- Suporta a ligação a equipamentos de marcas terceiras que usem o protocolo Modbus RTU;
- Atribui automaticamente um endereço RS-485 aos inversores conectados ao *Smart Logger 1000*;

- Permite fazer de forma remota a alteração dos parâmetros dos inversores e sincroniza os parâmetros de um inversor para os outros inversores de um mesmo lote, de modo a facilitar a sua configuração e manutenção;

- **Manutenção local:**

- Permite ao utilizador atualizar o *data logger* e exportar dados, utilizando uma pen drive ou através da interface gráfica;

- **Manutenção remota:**

- Permite a conexão com o NetEco e com outros *softwares* de monitorização de marcas terceiras, utilizando os protocolos Modbus TCP e IEC 60780-5-104, para gestão de todos os equipamentos;
- Envia relatórios de performance da instalação FV ao utilizador, via mail.

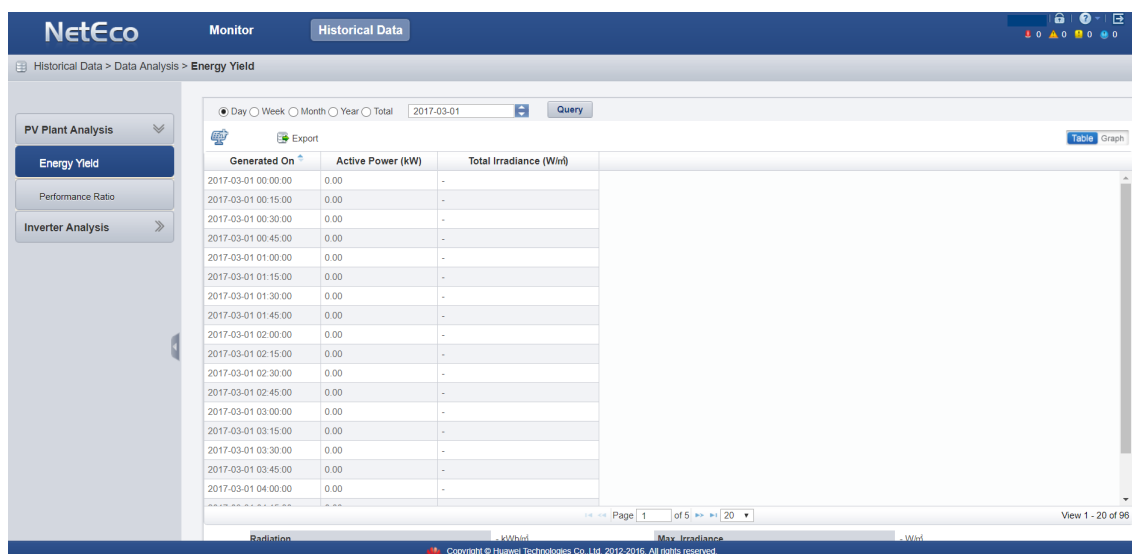


Figura 3.4: Servidor online *NetEco* para acesso aos dados das variáveis, armazenados no *Smart Logger 1000*.

O *Smart Logger 1000* comunica com equipamentos como inversores, contadores, estações meteorológicas, entre outros, através dos protocolos Modbus RTU ou IEC 60780-5-103 e usando o RS-485 como interface do meio físico. Para além disso, permite conectar-se ao portal de monitorização online da própria marca ou de marcas terceiras, através de um cabo *Ethernet* e usando os protocolos de comunicação Modbus TCP e IEC 60870-5-104.

De maneira a que estas ligações possam ser realizadas, é ainda necessário identificar quais as entradas que servirão para conetar o *data logger* aos restantes componentes. A figura 3.5 representa uma vista inferior do *data logger* de maneira a localizar as entradas que deverão ser utilizadas, e a tabela 3.1 identifica as entradas e indica o tipo de ligação que compete a cada entrada.

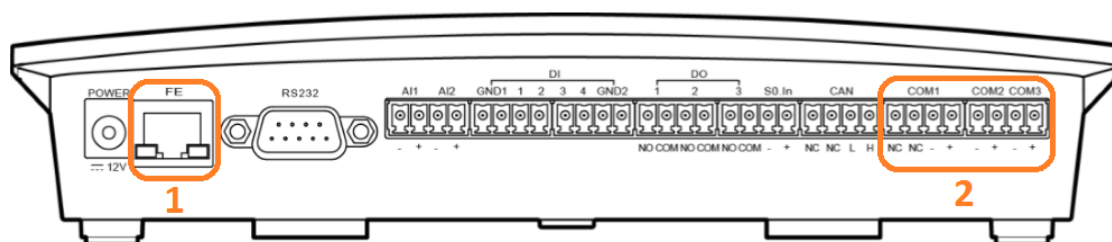


Figura 3.5: Visão inferior do *Smart Logger 1000*. [39]

Tabela 3.1: Entradas e respetivas ligações do *Smart Logger 1000*.

Nº	Entradas	Nº de Entradas	Função
1	FE	1	Ligação Ethernet
2	COM	3	Ligação RS-485

Como é possível observar na tabela 3.1, a entrada FE é utilizada para ligação através de um cabo *Ethernet* e as 3 entradas COM são usadas para ligações RS-485.

3.2.1.2 Inversores

O inversor fotovoltaico, ou conversor DC / AC (*Direct Current e Alternating Current*), é o elemento de ligação entre o lado do sistema de geração FV, que corresponde ao lado DC, com o lado da carga, que corresponde ao lado AC. A sua principal função consiste em converter o sinal elétrico DC num sinal elétrico AC. No caso do sistema FV se encontrar inserido numa instalação de utilização ligada à RESP, é necessário que o inversor permita um ajustamento na frequência e nível de tensão, de modo a que sejam semelhantes aos da RESP. [1, 41]

Os inversores FV encontram-se divididos em duas categorias, inversores de rede, que fazem a ligação à rede, e inversores autocontrolados, destinados a funcionar de forma autónoma. [1, 41]

Os inversores de rede são ligados diretamente à rede ou então através do circuito elétrico da instalação de consumo em que estão inseridos, injetando a energia que lhes é fornecida pelo gerador fotovoltaico. Os inversores autocontrolados são adequados para sistemas isolados, embora também possam ser ligados à rede. [1, 41]

Atualmente os inversores FV têm ainda a capacidade de registar dados de operação e proteger o sistema contra sobrecargas, sobretensões, inversões de polaridade e protegem ainda a interligação com a rede. [1, 41]

Para este estudo foi escolhido o inversor *SUN2000-33KTL* da mesma marca do *data logger*, para servir como referência no posterior desenvolvimento do sistema de monitorização. A folha de características deste inversor encontra-se no anexo A.2 deste documento. Este modelo utiliza o protocolo Modbus RTU e entradas RS-485. [42]

3.2.1.3 Contadores

A contagem da energia produzida por um sistema FV, tal como a energia consumida, é feita, normalmente, através de contadores de energia.

No máximo podem ser instalados 3 contadores, o contador de energia produzida pelo sistema gerador, o contador de energia consumida pela instalação de utilização e o contador de energia produzida excedente a ser vendida à RESP. No entanto, é possível substituir o contador do consumo e do excedente a ser vendida à RESP por um contador bidirecional que é capaz de medir tanto a energia consumida como a vendida à RESP.

A figura 2.1, presente no segundo capítulo deste documento, apresenta o caso de um consumidor residencial que vende energia produzida e consome energia da rede utilizando um contador bidirecional.

Caso o produtor não pretenda injetar energia na RESP, deve ser instalado um sistema que o impeça, sendo que nesse caso não é necessária a colocação do contador da energia excedente na instalação FV. [48]

Para este estudo foi sugerido pela empresa o contador de energia *UMG 604*, da marca *Janitza*, para servir como referência na posterior análise do sistema de monitorização. A folha de características deste contador encontra-se no anexo A.3 deste documento. Este modelo usa as interfaces RS-232, RS-485 e *Ethernet* e os protocolos Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus DP, BACnet, entre outros.[43]

3.2.1.4 Relé de Proteção de Interligação

Nas instalações FV de grandes dimensões, com ligação à RESP, é fundamental a instalação de um relé de proteção de interligação. Este dispositivo possui entradas de medição e saídas de manobra, que são geridas por um autómato programável e tem como função garantir o bom funcionamento do sistema elétrico, realizando uma deteção e actuação correta dos defeitos. [44, 45]

Os parâmetros de controlo deste dispositivo são os seguintes: [44, 45]

- Medição em tempo real dos mínimos e máximos de corrente;
- Medição em tempo real dos máximos e mínimos de tensão;
- Medição dos máximos e mínimos da frequência;
- Medição da corrente homopolar;
- Medição da tensão homopolar.

A monitorização de todas as grandezas protegidas pelo relé de proteção de interligação são feitas utilizando transformadores de corrente (TI) para medição da corrente e transformadores de tensão (TT) para medição da tensão. [44, 45]

Este dispositivo deverá ser capaz de registar todos os eventos ocorridos, mais precisamente as anomalias detetadas em qualquer um dos parâmetros acima referidos. Este dispositivo deve ser capaz de enviar um alarme visual e impedir a reposição de serviço até que a situação anormal seja verificada.

Para este estudo foi sugerido pela empresa o modelo *SYMAP-Compact*, com proteção tipo F3, da *Stucke Elektronik GmbH* para servir como referência no estudo do sistema de monitorização. A folha de características deste componente encontra-se no anexo A.4 deste documento. Analisando a folha de características, verifica-se que o modelo usa as interfaces RS-422, RS-485 e *Ethernet* e os protocolos Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus DP, IEC 60870-5-103, entre outros. Posteriormente serão discutidas as condições em que é necessária a instalação de um relé de proteção de interligação. [46, 47]

3.2.2 Sistema de Monitorização

Pretende-se que o sistema de monitorização a ser criado neste documento seja composto pelo *data logger* da *Huawei*, por inversores, contadores e por um relé de proteção de interligação. De maneira a que todos estes dispositivos estejam interligados, foi necessário determinar as interfaces e os protocolos de comunicação que cada um destes disponibiliza.

Analisando as características técnicas destes equipamentos, verifica-se que alguns oferecem um grande conjunto de soluções para comunicação, como é o caso do contador, que disponibiliza ligações físicas por RS-232, RS-485 e *Ethernet*, utilizando os protocolos Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus DP (apenas disponível para o modelo *UMG 604 EP*), BACnet, entre outros. Uma vez que o objetivo passa por ligar todos os equipamentos ao *data logger*, apenas serão de interesse as interfaces e os protocolos que estes possuem em comum. Tendo isso em consideração, foi desenvolvida a tabela seguinte.

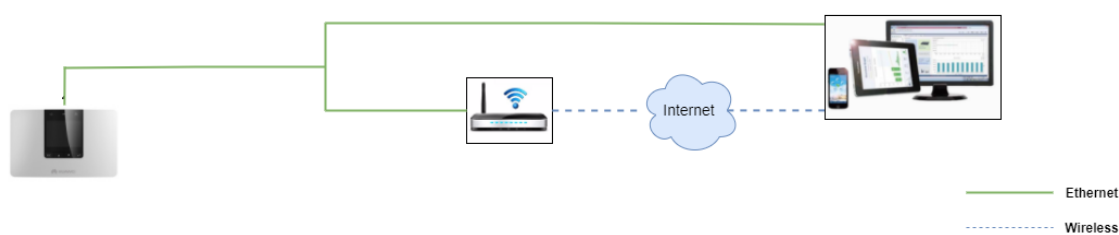
Tabela 3.2: Interfaces e protocolos de comunicação disponíveis.

Componente	Transmissão de Dados			
	RS485		Ethernet	
	Modbus RTU	IEC 60870-5-103	Modbus TCP	IEC 60870-5-104
Inversor	X			
Proteção de Interligação	X	*	X	
Datalogger	X	X	X	X
Contador	X		X	

(*) - Opcional

A tabela 3.2 apresenta todas as opções de comunicação disponíveis entre o *data logger* e os restantes dispositivos. A comunicação entre o inversor e o *data logger* é possível ser feita respeitando o protocolo Modbus RTU e usando um cabo RS-485. Por outro lado, a comunicação do *data logger* com a proteção de interligação é feita via RS-485, mas tem como opção usar o protocolo Modbus RTU ou o IEC 60870-5-103. No entanto, é importante referir que na tabela, a opção do protocolo IEC 60870-5-103 encontra-se marcada por um asterisco, o que significa que este protocolo apenas estará incluído no produto caso o comprador o requisiite.

Relativamente aos protocolos Modbus TCP e IEC 60870-5-104, estes não serão utilizados para a comunicação entre o *data logger* e os restantes componentes, mas para estabelecer uma comunicação entre o *data logger* e o utilizador. Tal como já foi referido, a comunicação com o utilizador serve para que este, acedendo a um servidor *web*, possa ter acesso a todos os dados armazenados no *data logger*. A figura 3.6 exemplifica a comunicação entre o *data logger* e o utilizador e a figura 3.7 apresenta a ligação física do *data logger* com um PC.

Figura 3.6: Comunicação entre o *data logger* e o utilizador.

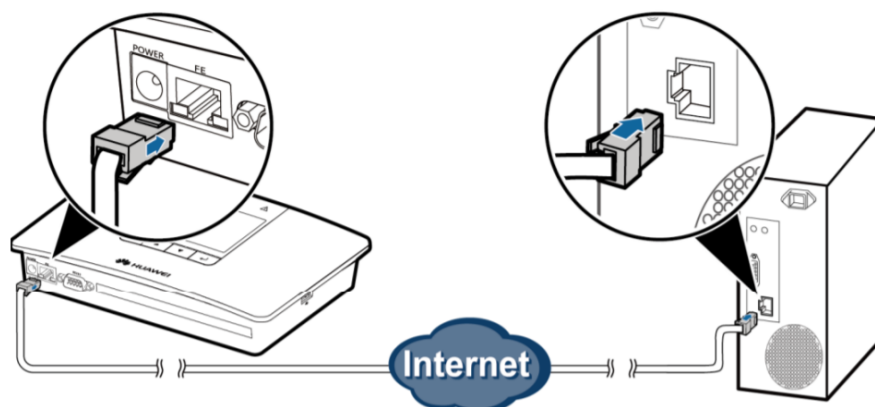


Figura 3.7: Ligação entre o *Smart Logger 1000* e um PC, de forma a aceder ao servidor *online*. [39]

Como se pode verificar no esquema anterior, o utilizador pode comunicar diretamente com o *data logger* via cabo *Ethernet* ou através de um dispositivo de rede (por exemplo, um *router*) para comunicação *wireless* com o utilizador. A *Huawei* recomenda que o cabo de ligação *Ethernet* seja categoria 5e blindado ou de um modelo superior, e que o seu comprimento não seja superior a 100 metros. Como foi possível observar na figura 3.7, a entrada FE deverá ser utilizada para este tipo de ligação.

Tendo em consideração a tabela 3.6, partiu-se para o desenvolvimento de um sistema de monitorização ideal para a gestão de uma UPAC fotovoltaica. Através deste sistema de monitorização, será possível ao utilizador obter um vasto conjunto de informações associadas à instalação fotovoltaica a que este se encontra integrado, como é o caso da quantidade de energia produzida pela instalação FV, da energia consumida e registos de manobras de proteção realizadas no caso da ocorrência de anomalias no sistema FV.

Com base no despacho lançado pela DGEG em março de 2015, foi desenvolvida a figura 3.8. Esta figura representa um esquema unifilar tipo de uma UPAC, com mais de um gerador FV, de potência superior a 1,5 kW, associado a uma instalação elétrica alimentada à RESP. A UPAC pode ser ligada à RESP em baixa tensão (BT), normal (BTN) ou especial (BTE), ou em média tensão (MT), com contagem em MT ou BT. A esta UPAC encontra-se integrado o sistema de monitorização. [48]

De seguida, será feita uma descrição da UPAC e do sistema de monitorização adotado.

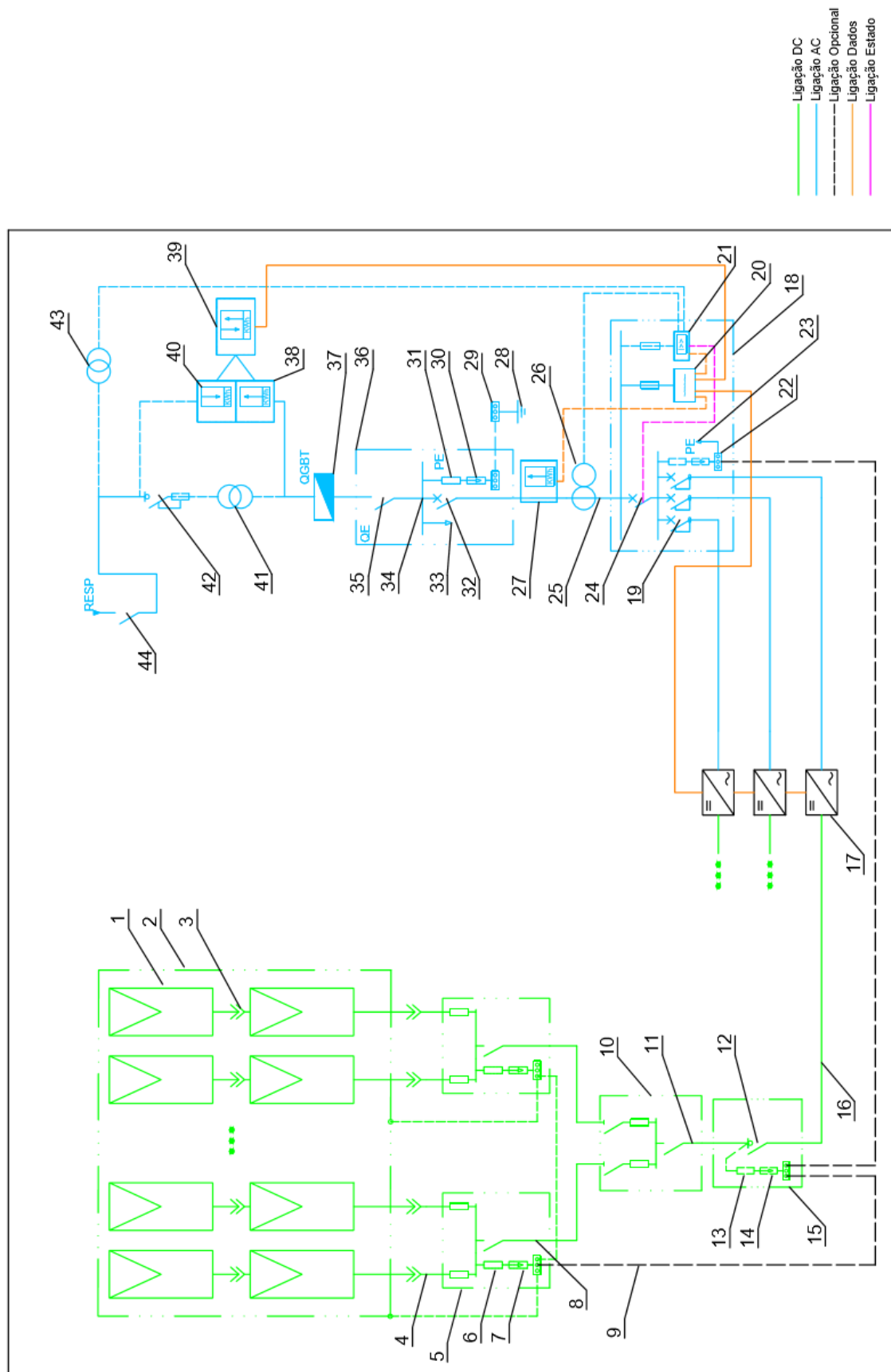


Figura 3.8: Esquema tipo de uma UPAC com ligação à RESP e com sistema de monitorização instalado.

Tabela 3.3: Legenda do esquema unifilar da UPAC.

Nº	Componente	Nº	Componente
1	Módulo FV	2	Estrutura FV
3	Conectores	4	Cabo de cadeia FV (strings)
5	Quadro de grupo FV ou caixa de junção	6	Dispositivo de proteção contra sobreintensidades (se necessário)
7	Dispositivo de proteção contra sobretensões (se necessário)	8	Cabo de grupo FV
9	Ligação equipotencial	10	Quadro FV DC ou quadro de gerador FV
11	Cabo de gerador FV	12	Dispositivo de seccionamento e corte
13	Dispositivo de proteção contra sobreintensidades (se necessário)	14	Dispositivo de proteção contra sobretensões (se necessário)
15	Quadro FV DC ou quadro de gerador FV	16	Cabo principal FV DC
17	Inversor FV com proteção de desacoplamento da RESP integrada	18	Quadro FV AC
19	Dispositivo de proteção diferencial e seccionamento FV AC	20	Dispositivo de armazenamento de dados (datalogger)
21	Proteção de máxima tensão homopolar	22	Terminal de equipotencialidade
23	Condutor de proteção do cabo de alimentação FV	24	Dispositivo de seccionamento e corte da instalação FV AC
25	Cabo de alimentação FV	26	Transformador de Corrente
27	Equipamento de contagem de produção da instalação FV	28	Eléctrodo da Terra
29	Terminal principal de terra	30	Dispositivo de proteção contra sobretensões (se necessário)
31	Dispositivo de proteção contra sobreintensidades (se necessário)	32	Dispositivo de proteção e corte omipolar da instalação FV
33	Circuitos da instalação eléctrica de consumo	34	Ponto de ligação da instalação FV
35	Dispositivo de corte geral da instalação FV	36	Quadro de entrada / Quadro parcial
37	Quadro geral de baixa tensão	38	Equipamento de contagem da energia excedente da instalação FV
39	Equipamento de contagem da energia bidirecional	40	Equipamento de contagem da energia da instalação de consumo
41	Transformador de potência MT/BT	42	Dispositivo de proteção, corte e seccionamento
43	Transformação de Tensão	44	Dispositivo de corte e seccionamento

A ligação no lado DC, representado pelos traços a verde, é definida por todos os equipamentos que integram a instalação FV a montante do inversor. O lado DC é constituído pelos painéis FV que são ligados, caso seja justificável, a quadros de grupo FV e a quadros DC, podendo estes constituir um único quadro. Os quadros de grupo FV podem ser designado por caixas de junção caso não existam dispositivos de proteção. Por fim, do quadro DC passamos para os inversores, terminando as ligações no lado DC.

A ligação no lado AC, representada pelos traços a azul, é definida pelos equipamentos a jusante dos inversores.

Conforme é apresentado na figura 3.8, através das linhas a cor de laranja, os inversores encontram-se ligados ao *data logger*. Os inversores comunicam com o *data logger* através da interface RS-485, respeitando o protocolo Modbus RTU. A figura 3.9 demonstra a ligação física do *Smart Logger 1000* com um inversor da marca *Huawei*. Nesta ligação será utilizada uma entrada COM, sabendo que, segundo o manual do utilizador do *data logger*, cada uma destas entradas permite uma ligação de até 30 inversores. [39]

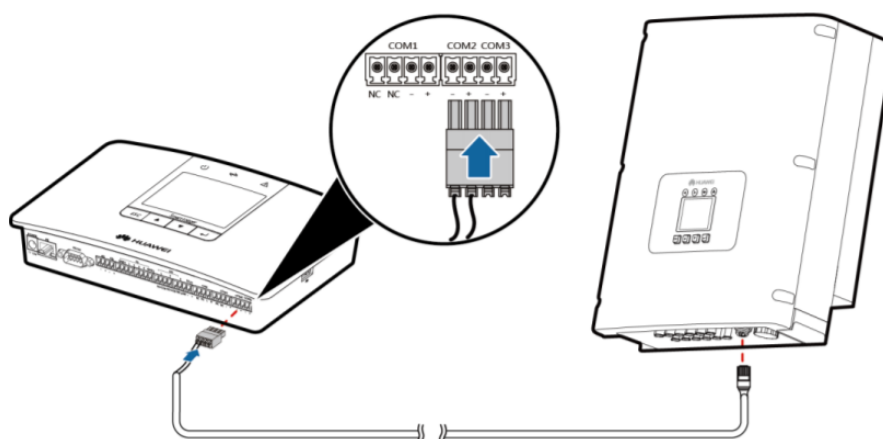


Figura 3.9: Ligação entre o *Smart Logger 1000* e o *SUN2000*. [39]

A comunicação entre inversores é realizada em RS-485 por encadeamento, ou seja, ligando cada inversor em série. Caso se pretenda conectar os inversores da própria marca em simultâneo com inversores de marcas terceiras ao *data logger*, será necessário usar duas entradas COM distintas, sendo uma entrada COM reservada para os inversores da própria marca e outra entrada para os inversores de outras marcas. A *Huawei* sugere o uso de um cabo de comunicação categoria 5e blindado para uso externo, com um comprimento máximo de 1000 metros.

É através da comunicação com os inversores que o *data logger* recolhe os dados de energia produzida pela instalação FV, a serem posteriormente utilizados no estudo da influência do auto-consumo nos valores da fatura elétrica.

No lado AC verifica-se a existência de um quadro AC. É neste quadro de proteção que se encontra instalado o *data logger* que comunica com os inversores, com o relé de proteção de interligação e com os contadores de energia.

Com base no despacho lançado pela DGEG, verifica-se que em instalações com ligação à RESP em MT, a proteção de máxima tensão homopolar deverá ser utilizada para potências não inferiores a 250 kW. No entanto, em casos devidamente justificados pelo operador da rede de distribuição, face às características da RESP no local, pode ser necessário o uso desta proteção para potências de interligação inferiores a 250 kW. [48]

O relé de proteção de interligação controla o estado do disjuntor instalado no quadro AC, como é possível observar no traçado a roxo, utilizando o método de medição indireta para monitorizar todas as grandezas por ele protegidas, recorrendo a TI's para a medição da corrente e TT's para a medição da tensão em MT.

Caso a instalação FV careça de um relé de proteção de interligação com função de máxima tensão homopolar, o *data logger* deverá comunicar com o relé de proteção de interligação por RS-485, seguindo o protocolo Modbus RTU. Desta forma, é possível ao *data logger* obter um registo de todas as vezes que o relé de proteção atua no disjuntor.

Posterior ao quadro AC, teremos a ligação do contador de produção de energia. A contagem da energia produzida é feita por telecontagem, devendo o contador encontrar-se devidamente equipado para esse efeito. É da responsabilidade do produtor a aquisição, instalação e operação do contador, do *modem* e do cartão GSM (*Global System for Mobile Communications*) de comunicações. Uma vez que os dados da energia produzida pela instalação já são obtidos através da comunicação do *data logger* com os inversores, a ligação do *data logger* com um contador de energia produzida não será necessária.

A seguir ao contador de produção temos o QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão). O QGBT e o QE (Quadro de Entrada) podem representar um único quadro.

Após o QGBT, são instalados os contadores de consumo e de energia excedente a vender à RESP, podendo estes serem substituídos por um equipamento de medição bidirecional, que mede tanto a energia consumida, como a energia vendida à RESP. Caso a UPAC esteja a ser alimentada pela RESP em MT, o contador deverá ser instalado antes ou depois do transformador, dependendo da contagem ser em BT ou em MT, respetivamente.

A comunicação entre o contador de energia e o *data logger* deverá ser feita por RS-485 e respeitando o protocolo Modbus RTU. Segundo o manual de utilizador do *data logger*, é apenas possível comunicar com um contador de cada vez. Tendo em consideração o estudo que será realizado posteriormente nesta dissertação, o ideal seria conetar a um contador de energia de consumo, uma vez que os dados de produção já são obtidos pela ligação com os inversores.[39]

Por fim, é feita a ligação à RESP.

Sendo assim, fica concluído o sistema de monitorização de uma UPAC. A interface escolhida foi o RS-485 por ser a interface que todos os componentes de monitorização têm em comum e por ser a única disponibilizada pelo *data logger* e pelo inversor (o relé e o contador podem usar outras interfaces, como foi possível observar nas folhas de características). Relativamente ao protocolo, a escolha tendeu para o Modbus por ser um protocolo bastante divulgado e com grande utilização, ao contrário do IEC 60870-5-103, que é muito menos conhecido e menos disponibilizado em equipamentos de monitorização. Devido à sua complexidade, a utilização do protocolo IEC 60870-5-103 é aconselhável para sistemas de monitorização mais complexos. Tendo sido estas as escolhas, deverão então ser utilizadas as 3 entradas COM (responsáveis pela ligação RS-485) integradas no *data logger*, sendo atribuída uma entrada para cada tipo de ligação.

A tabela 3.4 representa uma síntese do que foi previamente analisado. De notar que o símbolo "X" significa que a ligação é obrigatória e o "*" significa que a ligação é opcional. Na ligação do *data logger* com o relé de proteção de interligação, esta opção será opcional, uma vez que irá depender da instalação FV necessitar, ou não, da proteção de máxima tensão homopolar.

Tabela 3.4: Ligações do sistema de monitorização.

RS-485 / Modbus RTU	Módulo FV	Quadro DC	Inversor	Quadro AC	Proteção de Interligação	Data logger	Contador de Produção	QGBT	Contador Consumo	PT
Módulo FV										
Quadro DC										
Inversor						X				
Quadro AC										
Proteção de Interligação						*				
Data logger			X		*				X	
Contador de Produção										
QGBT										
Contador Consumo						X				
PT										

No anexo B são apresentadas duas matrizes que representam as possíveis ligações elétricas que podem ser realizadas no lado DC e AC da UPAC, servindo assim para complementar a análise feita à figura 3.8. Tal como já foi referido, o "X" representa que a ligação é obrigatória e o "*" significa que a ligação é opcional.

Com este sistema de monitorização é possível obter os valores de energia produzida e de energia consumida, valores estes que serão utilizados no estudo do impacto do autoconsumo na fatura elétrica, a ser realizada de seguida.

3.3 Análise Económica

3.3.1 Tratamento de Dados

Um dos objetivos desta dissertação passa pelo estudo das repercussões que o autoconsumo pode provocar nos valores da fatura elétrica da empresa. Desta forma, é importante começar por fazer o tratamento dos dados disponíveis e analisar as condições contratuais aplicadas à instalação da empresa.

Começando com uma análise da fatura elétrica mensal da empresa, conclui-se que esta cumpre um contrato de nível de média tensão e com ciclo horário semanal incluindo feriados, respeitando assim os períodos horários apresentados na figura 3.10, retirada do portal da ERSE. [49]

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Figura 3.10: Ciclo horário semanal. [49]

Estudado o ciclo horário respeitado, verifica-se que existem 4 períodos horários, sendo estes ponta, cheia, vazio e super vazio, que variam consoante os dias da semana e o período de hora legal de verão e inverno, como se pode observar na figura 3.10. A cada um dos 4 períodos está atribuída uma tarifa diferente de compra de energia (€/kWh) que também varia com a hora legal do ano. O ciclo semanal com feriados distingue, para efeitos de faturação da energia, os dias da semana (segunda a sexta), dos dias de fim-de-semana (sábado e domingo) e também os feriados nacionais, sendo a estes últimos atribuídos períodos horários idênticos aos dos domingos da hora legal em questão.

Durante o trabalho realizado ao longo deste semestre foi desenvolvida uma ferramenta, utilizando o *excel*, o VBA (*Visual Basic for Applications*) e o *iMacros*, cuja função principal consiste em atribuir um período horário (ponta, cheia, vazio e supervazio) a cada período de tempo que lhe é inserido. Esta ferramenta recolhe automaticamente os dados armazenados no *NetEco*, selecionados pelo utilizador, e recolhe a informação relativa a períodos de tempo, para depois os classificar por dia da semana (segunda a sexta, sábado ou domingo), se é feriado ou não (se for feriado é classificado como um domingo) e a respetiva hora legal (verão ou inverno), influenciando assim o período horário a ser atribuído a cada período de tempo. Os códigos desta ferramenta encontram-se no anexo C deste documento.

Desta forma, ao longo deste estudo, será feita a distinção entre dias da semana, de fim-de-semana e de feriados. É também tomado em consideração o período de hora legal de verão e inverno, que são definidos pelo último domingo dos meses de Março e de Outubro de cada ano, respetivamente. Logo, para o ano de 2017, considera-se:

- **Horal legal de verão:** início a 26 de Março;
- **Horal legal de inverno:** início a 29 de Outubro.

Do ciclo semanal conclui-se que os 4 períodos horários estabelecidos pela ERSE, existem somente durante os dias da semana (segunda a sexta), sendo que aos fins de semanas e feriados não existem horas de ponta, e no caso dos domingos e feriados, só existem os períodos de vazio e super vazio. Analisando novamente o ciclo horário respeitado pelo parque FV da empresa, na figura 3.10, pode-se afirmar que os consumos energéticos certamente não irão ser semelhantes para os dias da semana e fim-de-semana, caso contrário o ciclo respeitado seria o ciclo horário diário onde não haveria distinção entre os dias da semana. Esta situação é explicada devido ao facto de grande parte dos consumos se verificarem durante os dias da semana.

Para uma análise económica ideal do autoconsumo, o conhecimento detalhado dos consumos por cada um dos 4 períodos e dos valores de produção da instalação FV são de grande importância. Através do sistema de monitorização desenvolvido anteriormente, seria possível obter os valores destas duas variáveis.

Inicialmente, estava planeado conetar um contador elétrico ao *data logger* de maneira a retirar os valores de consumo e assim registar ao mesmo tempo, em períodos com intervalos de 15 minutos, estes valores com os da produção de energia da instalação FV no *data logger*, obtidos pela ligação do *data logger* com os inversores. Através do tratamento destes dados, seria possível obter a quantidade de energia a comprar e a vender à RESP, que seria determinada pela diferença entre o consumo e a produção. Caso a diferença fosse positiva, o valor determinado corresponderia à quantidade de energia comprada à rede, designado consumo depois. Caso a diferença fosse negativa, o valor corresponderia à quantidade de energia vendida à rede.

Entretanto, devido a questões de ordem técnica, não foi possível fazer o registo do consumo de energia conforme estava previsto. Desta forma, de maneira a obter os valores de consumo, foi necessário recorrer aos dados da produção, registados no *data logger*, e aos dados da energia comprada à rede, designado consumo depois, retirados da plataforma online "Gestão de Consumos" da EDP. É importante referir que a variável consumo depois representa a energia comprada à rede com o autoconsumo, enquanto que a variável consumo representa a energia comprada à rede sem autoconsumo. [50]

Apesar de ser possível ter acesso aos valores de consumo depois, estes apenas se apresentam em valores positivos ou iguais a zero, não sendo possível ter acesso aos valores negativos, que iriam corresponder à quantidade de energia vendida à rede. Desta forma, caso os valores de consumo depois, num determinado período de tempo, sejam iguais a zero, pode significar que o consumo é igual à produção ou que a energia está a ser vendida à rede (consumo menor que a produção). Na tabela 3.5 é exposto um exemplo desta situação.

Tabela 3.5: Valores de consumo depois, num dia aleatório.

Período	Consumo Depois (kWh)
15/05/2017 10:30	0,25
15/05/2017 10:45	0,75
15/05/2017 11:00	0,00
15/05/2017 11:15	0,00
15/05/2017 11:30	0,00
15/05/2017 11:45	0,00
15/05/2017 12:00	0,00
15/05/2017 12:15	0,00
15/05/2017 12:30	0,00
15/05/2017 12:45	0,00
15/05/2017 13:00	0,00
15/05/2017 13:15	0,00
15/05/2017 13:30	0,00
15/05/2017 13:45	0,00
15/05/2017 14:00	0,00
15/05/2017 14:15	0,00
15/05/2017 14:30	1,25
15/05/2017 14:45	0,75
15/05/2017 15:00	1,00
15/05/2017 15:15	0,25
15/05/2017 15:30	0,00
15/05/2017 15:45	6,00
15/05/2017 16:00	0,50
15/05/2017 16:15	4,75
15/05/2017 16:30	6,50

De modo a colmatar a ausência dessa informação, recorreu-se a uma extrapolação baseada na linearização do consumo, em que se assume que caso o valor do consumo depois, num período t , for igual a zero, o consumo do período t será igual ao consumo do período anterior $t-1$.

Tendo então em conta os dados disponíveis e a limitação apresentadas anteriormente, desenvolveu-se a seguinte expressão para calcular a energia consumida em cada período de tempo.

$$\begin{cases} C_t = P_t + CD_t & , \text{ se } CD_t > 0 \\ C_t = C_{t-1} & , \text{ se } CD_t = 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Onde:

- C_t - Energia consumida, no período t , em kWh;
- C_{t-1} - Energia consumida, no período anterior ao período t , em kWh;
- P_t - Energia produzida, no período t , em kWh;
- CD_t - Energia consumida depois, no período t , em kWh.

Tendo conhecimento dos valores de consumo de energia, avança-se para a determinação da energia excedente a ser vendida à RESP. Os valores de energia vendida à RESP são calculados pela diferença entre a produção e o consumo. Quando a diferença é positiva, o valor correspondente é apresentado, no entanto, quando o valor da diferença é negativa, como não se verifica energia excedente, é definido como valor 0.

Desta forma, a expressão seguinte é usada para calcular a quantidade de energia vendida à RESP.

$$\begin{cases} V_t = P_t - C_t & , \text{ se } P_t - C_t > 0 \\ V_t = 0 & , \text{ se } P_t - C_t \leq 0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Onde:

- V_t - Energia vendida à RESP, no período t , em kWh.

Com base nos dados disponíveis inicialmente e através das 2 expressões anteriores, foi possível elaborar a tabela 3.6. Esta tabela representa o balanço energético de um dia escolhido de forma aleatória. São então apresentados os valores de consumo, produção, consumo depois, energia excedente vendida à RESP e de energia autoconsumida para cada período de tempo, separados por intervalos de 15 minutos.

Tabela 3.6: Balanço energético diário.

Horário	PH	Consumo (kWh)	Produção (kWh)	Energia vendida à RESP (kWh)	Consumo Depois (kWh)	Energia Autoconsumida (kWh)
00:00	V	4,25	0	0	4,25	0
00:15	V	4	0	0	4	0
00:30	V	3,75	0	0	3,75	0
00:45	V	4	0	0	4	0
01:00	V	4	0	0	4	0
01:15	V	3,75	0	0	3,75	0
01:30	V	3,75	0	0	3,75	0
01:45	V	3,75	0	0	3,75	0
02:00	SV	4	0	0	4	0
02:15	SV	3,75	0	0	3,75	0
02:30	SV	4	0	0	4	0
02:45	SV	3,75	0	0	3,75	0
03:00	SV	4	0	0	4	0
03:15	SV	3,75	0	0	3,75	0
03:30	SV	3,75	0	0	3,75	0
03:45	SV	3,75	0	0	3,75	0
04:00	SV	3,75	0	0	3,75	0
04:15	SV	4	0	0	4	0
04:30	SV	3,5	0	0	3,5	0
04:45	SV	3,75	0	0	3,75	0
05:00	SV	3,75	0	0	3,75	0
05:15	SV	3,75	0	0	3,75	0
05:30	SV	3,8605	0,1105	0	3,75	0,1105
05:45	SV	4,43925	0,68925	0	3,75	0,68925
06:00	V	5,819	2,069	0	3,75	2,069
06:15	V	5,8135	1,8135	0	4	1,8135
06:30	V	5,33925	1,83925	0	3,5	1,83925
06:45	V	6,53425	3,28425	0	3,25	3,28425
07:00	C	10,55625	8,55625	0	2	8,55625
07:15	C	6,61025	5,11025	0	1,5	5,11025
07:30	C	8,6575	6,6575	0	2	6,6575
07:45	C	9,48275	7,98275	0	1,5	7,98275
08:00	C	7,66725	6,91725	0	0,75	6,91725
08:15	C	9,6335	6,8835	0	2,75	6,8835
08:30	C	15,801	13,301	0	2,5	13,301
08:45	C	15,39775	12,64775	0	2,75	12,64775
09:00	C	14,82825	10,82825	0	4	10,82825
09:15	P	18,2395	11,9895	0	6,25	11,9895
09:30	P	19,5855	17,3355	0	2,25	17,3355
09:45	P	19,30925	18,55925	0	0,75	18,55925
10:00	P	19,93225	15,93225	0	4	15,93225
10:15	P	20,12	17,37	0	2,75	17,37
10:30	P	15,872	15,622	0	0,25	15,622
10:45	P	16,2445	15,4945	0	0,75	15,4945
11:00	P	16,2445	14,90325	0	0	14,90325
11:15	P	16,2445	22,322	6,0775	0	16,2445
11:30	P	16,2445	21,815	5,5705	0	16,2445
11:45	P	16,2445	32,14175	15,89725	0	16,2445
12:00	P	16,2445	26,09725	9,85275	0	16,2445
12:15	C	16,2445	21,09775	4,85325	0	16,2445
12:30	C	16,2445	22,848	6,6035	0	16,2445
12:45	C	16,2445	21,04525	4,80075	0	16,2445
13:00	C	16,2445	26,1295	9,885	0	16,2445
13:15	C	16,2445	21,40375	5,15925	0	16,2445
13:30	C	16,2445	19,97925	3,73475	0	16,2445
13:45	C	16,2445	19,50375	3,25925	0	16,2445
14:00	C	16,2445	19,49675	3,25225	0	16,2445
14:15	C	16,2445	26,206	9,9615	0	16,2445
14:30	C	12,396	11,146	0	1,25	11,146
14:45	C	17,444	16,694	0	0,75	16,694
15:00	C	14,04125	13,04125	0	1	13,04125
15:15	C	11,0445	10,7945	0	0,25	10,7945
15:30	C	11,0445	12,852	1,8075	0	11,0445
15:45	C	14,633	8,633	0	6	8,633
16:00	C	15,563	15,063	0	0,5	15,063
16:15	C	22,9915	18,2415	0	4,75	18,2415
16:30	C	16,556	10,056	0	6,5	10,056
16:45	C	18,543	13,543	0	5	13,543
17:00	C	17,426	9,426	0	8	9,426
17:15	C	9,9915	7,7415	0	2,25	7,7415
17:30	C	11,255	6,005	0	5,25	6,005
17:45	C	9,7905	4,0405	0	5,75	4,0405
18:00	C	9,18825	2,68825	0	6,5	2,68825
18:15	C	7,55	2,05	0	5,5	2,05
18:30	C	8,4135	1,1635	0	7,25	1,1635
18:45	C	8,99225	0,99225	0	8	0,99225
19:00	C	10,19125	0,44125	0	9,75	0,44125
19:15	C	9,26675	0,26675	0	9	0,26675
19:30	C	9,069	0,069	0	9	0,069
19:45	C	8,75	0	0	8,75	0
20:00	C	8,75	0	0	8,75	0
20:15	C	8,5	0	0	8,5	0
20:30	C	8,25	0	0	8,25	0
20:45	C	8,25	0	0	8,25	0
21:00	C	7,5	0	0	7,5	0
21:15	C	7,5	0	0	7,5	0
21:30	C	7,25	0	0	7,25	0
21:45	C	7,5	0	0	7,5	0
22:00	C	6,5	0	0	6,5	0
22:15	C	5	0	0	5	0
22:30	C	5,25	0	0	5,25	0
22:45	C	4,75	0	0	4,75	0
23:00	C	4,75	0	0	4,75	0
23:15	C	4,5	0	0	4,5	0
23:30	C	4,25	0	0	4,25	0
23:45	C	4,5	0	0	4,5	0
Total		948,81	680,93	90,72	357,25	590,22

O dia escolhido é uma segunda-feira, não é feriado e está inserido no período de verão, pelo que a distribuição horária pelos períodos de cheia (C), ponta (P), vazio (V) e super vazio (SV) seguem a ordem apresentada na figura 3.10.

Como foi previamente referido, apenas foi possível ter acesso aos valores da produção e do consumo depois. Desta forma, os valores da coluna do consumo são determinados através da expressão 3.1. Obviamente, tratando-se este método de uma suposição, encontrar-se-á falhas no tratamento dos dados energéticos.

Analisando o período entre as 10:45 e as 14:15, verifica-se que o consumo é sempre igual a 16,2445 kWh. Esta situação deve-se ao facto de na expressão 3.1 se considerar que caso o consumo depois seja igual a 0, o consumo será igual ao consumo do período anterior. A mesma situação ocorre às 15:30, em que o consumo do período das 15:15 e das 15:30 são iguais.

Os valores da coluna da energia vendida à RESP são calculados através da diferença entre a produção e o consumo. Quando a diferença é positiva, o valor correspondente é apresentado. Quando o valor da diferença é negativa, como não se verifica energia excedente, é definido como 0.

Por fim, relativamente aos valores de energia de autoconsumo, estes são determinados pela diferença entre a produção e a energia excedente vendida à RESP. Estes valores representam assim a quantidade de energia produzida que é consumida pela instalação elétrica de consumo (autoconsumida).

A partir dos valores obtidos na tabela anterior, é possível traçar um gráfico que relacione todos esses valores. O gráfico encontra-se no anexo D deste documento. A partir deste gráfico, verifica-se uma cota de autoconsumo de 86,68% para o dia escolhido. A cota de autoconsumo é obtida através do quociente da energia autoconsumida total com a energia produzida total.

Determinados todos os valores das variáveis acima referidas, para cada período, ficam então reunidas todas as condições para realizar a análise económica dos efeitos do autoconsumo na fatura elétrica.

3.3.2 **Poupança**

A análise feita anteriormente consistia num balanço energético diário. Para verificar o impacto do autoconsumo na fatura de eletricidade da empresa, passou-se a fazer uma análise mensal, resultante do somatório dos valores obtidos para cada dia do mês, entre 1 de janeiro a 31 de maio.

A tabela 3.7 apresenta os valores de consumo da instalação elétrica, durante os meses de janeiro até maio de 2017. Tal como já foi referido anteriormente, apesar da instalação FV ter iniciado a sua atividade em setembro de 2016, os valores da energia produzida apenas começaram

a ser registados pelo *data logger* a partir de dezembro. Porém, verificou-se que vários registos dos valores da produção fotovoltaica durante o mês de dezembro se revelaram defeituosos. Por esse motivo, o mês de dezembro não faz parte deste estudo.

Tabela 3.7: Consumo mensal por período horário.

Mês	Ponta (kWh)	Cheia (kWh)	Vazio (kWh)	Super Vazio (kWh)	Total (kWh)
Janeiro	8317,75	16629,98	4289,09	1991,50	31228,32
Fevereiro	5425,19	11645,98	5795,86	1650,00	24517,02
Março	6747,17	15557,59	4684,27	1926,50	28915,53
Abril	5413,51	15832,70	8363,39	1837,42	31447,02
Maio	5735,75	18469,55	7666,57	1940,98	33812,85
Total (kWh)	31639,38	78135,79	30799,18	9346,40	149920,75

A partir da tabela 3.7 é possível verificar que é no período de cheia que se verifica o maior consumo de energia, representando cerca de 52% do consumo total, dada a grande atividade produtiva que caracteriza esse período. Por outro lado, é no período de super vazio que os consumos são mais baixos, representando cerca de 6% do consumo total, isto por coincidirem com o período noturno. Relativamente ao consumo total por mês, verifica-se que nos meses de inverno de janeiro a março existe um consumo ligeiramente inferior aos consumos de abril e maio. Durante estes 5 meses verificou-se um consumo total de 149,92 MWh.

O gráfico da figura 3.11 ilustra os consumos mensais apresentados na tabela 3.7, distribuído pelos 4 períodos horários.

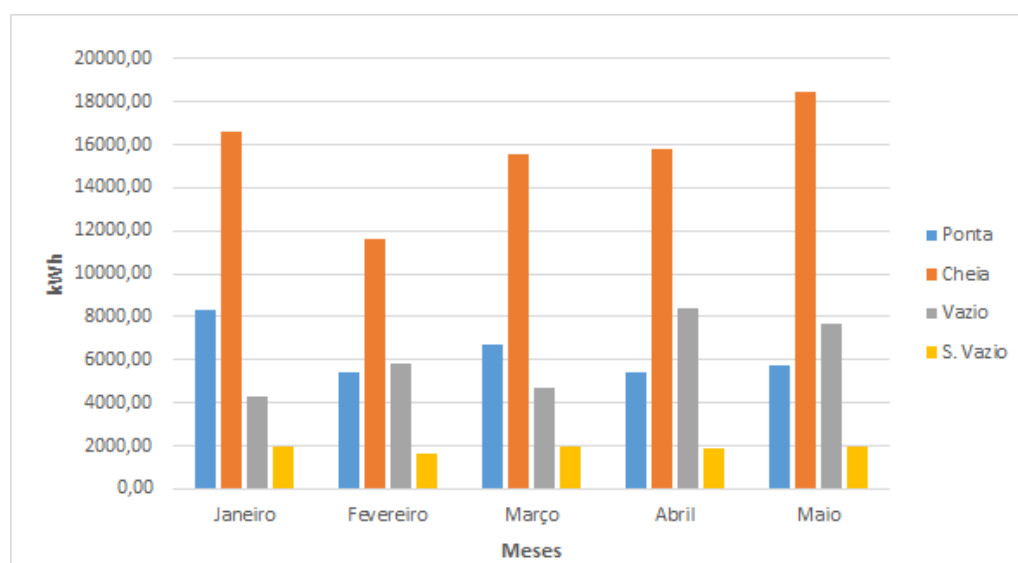


Figura 3.11: Consumo energético mensal por período horário.

Como referido anteriormente, a análise às faturas do consumo de energia elétrica é um ponto importante para se poder analisar a viabilidade da implementação de um sistema de autoconsumo. É desta forma indispensável saber a tarifa de energia a pagar, por cada período horário.

Ao fornecimento de energia elétrica em MT são aplicadas as tarifas transitórias de venda a clientes finais estabelecidas pela ERSE nos termos do regulamento tarifário. Neste estudo, apenas serão consideradas as tarifas de energia ativa e da Potência em Horas de Ponta (PHP) por serem os custos associados a estas tarifas que o sistema FV irá afetar.

Através de uma fatura de energia elétrica fornecida pela empresa, são retiradas as seguintes tarifas associadas ao consumo, representadas na seguinte tabela.

Tabela 3.8: Tarifas do consumo energético.

Tarifas de Compra de Energia	
Componente	Preço
Energia Ativa - P (€/kWh)	0,1228
Energia Ativa - C (€/kWh)	0,1138
Energia Ativa - V (€/kWh)	0,0837
Energia Ativa - SV (€/kWh)	0,0825
PHP (€/kW)	0,2641

Considerando então os valores das tarifas e os consumos energéticos obtidos durante os meses de janeiro a maio de 2017, é possível determinar os custos do consumo, apresentados na tabela 3.9.

Tabela 3.9: Custos do consumo.

Mês	Ponta (€)	Cheia (€)	Vazio (€)	Super Vazio (€)	PHP (€)	Total (€)
Janeiro	1021,42	1892,49	359,00	164,30	619,07	4056,28
Fevereiro	666,21	1325,31	485,11	136,13	401,18	3013,94
Março	828,55	1770,45	392,07	158,94	526,09	3676,11
Abril	664,78	1801,76	700,02	151,59	794,28	4112,42
Maio	704,35	2101,83	641,69	160,13	711,50	4319,51
Total	3885,32	8891,85	2577,89	771,08	3052,12	19178,26

Os custos para cada um dos 4 períodos horários são determinados através da multiplicação do consumo com a tarifa de energia ativa correspondente. O custo associado ao PHP é definido pelo quociente entre a energia total consumida em horas de ponta e o número total de horas de ponta do mês em questão, a multiplicar pela tarifa PHP e pelo número de dias do mês.

Analisando a tabela, verifica-se uma despesa total de 19.178,26 €. Tal como era previsto, o período de cheia corresponde à maior fatia da despesa, cerca de 46% do consumo total, sendo também o período de super vazio o que menos contribui para a despesa, com cerca de 4% do consumo total. O mês de fevereiro, por ser o mês com menor consumo, apresenta-se como o mês onde a fatura elétrica é a mais baixa. Do mesmo modo, o mês de maio apresenta a maior despesa monetária. A média dos custos associados ao consumo em cada mês corresponde a 3.835,65 €.

A figura 3.12 ilustra os consumos mensais apresentados na tabela 3.9, distribuído pelas tarifas aplicadas.

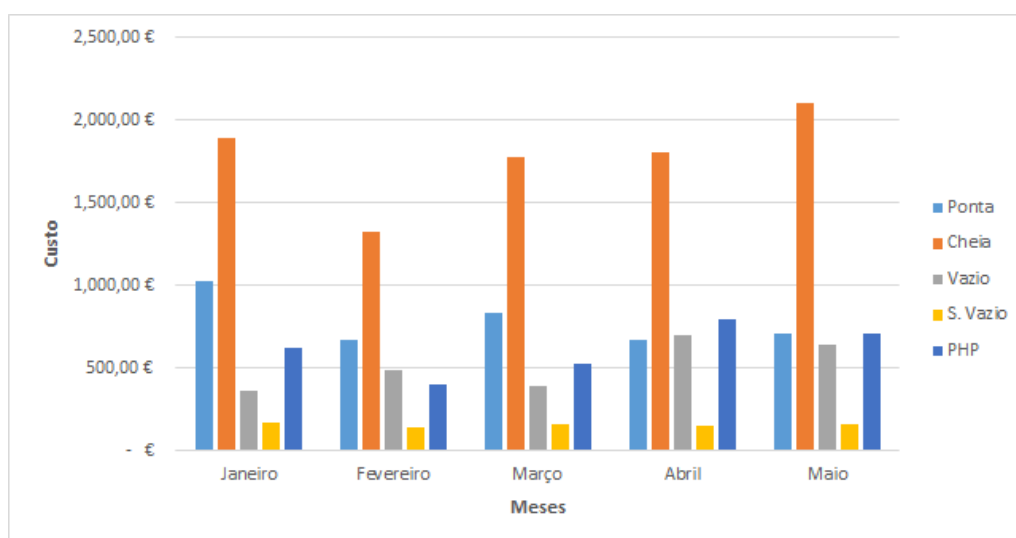


Figura 3.12: Custo do consumo energético mensal por tarifa aplicada.

Determinado o consumo e o seu custo, é de seguida estudada a produção do sistema FV da empresa. Tal como já foi referido, os dados de produção da instalação FV da empresa foram retirados do *data logger*. A partir desses dados é possível conceber a seguinte tabela de energia produzida durante este ano.

Tabela 3.10: Produção fotovoltaica mensal.

Mês	Produção FV Mensal (kWh)
Janeiro	3903,79
Fevereiro	6708,29
Março	14680,26
Abril	22332,82
Maio	22246,27
Total	69871,43

Examinando a tabela 3.10, percebe-se que a produção durante os meses de janeiro e fevereiro são bastante reduzidos quando comparados com os valores dos restantes meses. Tal como já foi mencionado no início do capítulo, entre setembro de 2016 até meio do mês de fevereiro de 2017, a potência instalada correspondia a 60 kW. A partir da segunda metade do mês de fevereiro, a potência instalada passou para 120 kW, pelo que a produção aumentou exponencialmente. Durante estes meses verificou-se uma produção total de 69.871,43 kWh.

Com o consumo e a produção mensal determinadas, passou-se para a análise do consumo depois, que tal como foi referido representa o consumo da instalação elétrica já com autoconsumo, e a energia produzida excedente vendida à rede.

Começando pelo consumo depois, com base nos dados fornecidos pela empresa, retirados do portal online "Gestão de Consumos", foi possível conceber a seguinte tabela de consumo depois para cada mês.

Tabela 3.11: Consumo depois mensal por período horário.

Mês	Ponta (kWh)	Cheia (kWh)	Vazio (kWh)	Super Vazio (kWh)	Total (kWh)
Janeiro	7453,50	14542,25	3359,25	1991,50	27346,50
Fevereiro	3995,50	8081,50	4558,25	1602,00	18237,25
Março	3481,50	7339,00	2493,25	1926,50	15240,25
Abril	860,00	5190,25	2942,50	1836,75	10829,50
Maio	907,00	6080,25	2413,75	1918,25	11319,25
Total	16697,50	41233,25	15767,00	9275,00	82972,75

A partir da tabela anterior é possível observar que no período de cheia verifica-se o maior consumo de energia e, por outro lado, no período de super vazio os consumos são mais baixos. É de reparar que o consumo no mês de janeiro é bastante superior ao consumo nos restantes meses, uma vez que, tal como foi referido no início do capítulo, a potência instalada aumentou a meio de fevereiro, o que influenciou o aumento da produção FV da instalação. Durante estes 5 meses, o consumo total foi de 82,97 MWh.

Por último, tendo em consideração a expressão 3.2, foi determinada a energia vendida à RESP em cada mês.

Tabela 3.12: Energia vendida à RESP em cada mês.

Mês	Energia vendida à RESP (kWh)
Janeiro	42,86
Fevereiro	580,38
Março	1642,52
Abril	3006,57
Maio	748,39
Total	6020,71

Como se pode verificar na tabela 3.12, no mês de abril é apresentada a maior quantidade de energia vendida à RESP. A quantidade de energia total vendida à RESP é de 6.020,71 kWh.

Para complementar o balanço económico que será abordado posteriormente, é necessário determinar a receita proveniente da energia vendida à RESP. O valor da receita é determinada recorrendo à expressão 2.1, presente no segundo capítulo.

Para obter os valores do $OMIE_m$ foram consultados os registos do MIBEL, referentes aos meses de janeiro a abril deste ano. De referir que o $OMIE_m$ de maio corresponde ao valor do ano 2016 uma vez que, à data, não há registos deste valor. Obtiveram-se as tarifas presentes na tabela 3.13.

Tabela 3.13: Valores do $OMIE_m$ a aplicar à receita da energia vendida à RESP.

Mês	OMIE (€/MWh)	OMIE (€/kWh)
Janeiro	71,52	0,07152
Fevereiro	51,39	0,05139
Março	43,95	0,04395
Abril	44,18	0,04418
Maio	24,93	0,02493
Média	47,19	0,04719

Uma vez determinados os valores de consumo, produção, consumo depois e energia vendida à RESP, foi possível elaborar a tabela 3.14, onde é feito o balanço energético da instalação, com e sem autoconsumo, para cada mês.

Tabela 3.14: Balanço energético com e sem autoconsumo.

Mês	Sem Autoconsumo		Com Autoconsumo					
	Consumo (kWh)	Produção (kWh)	Consumo Depois (kWh)	Energia Vendida à RESP (kWh)	Autoconsumo (kWh)	Cota de Autoconsumo (%)	Taxa de Autonomia (%)	Poupança (%)
Janeiro	31228,32	3903,79	27346,50	42,86	3860,93	98,90%	12,36%	12,43%
Fevereiro	24517,02	6708,29	18237,25	580,38	6127,92	91,35%	24,99%	25,61%
Março	28915,53	14680,26	15240,25	1642,52	13037,74	88,81%	45,09%	47,29%
Abril	31447,02	22332,82	10829,50	3006,57	19326,25	86,54%	61,46%	65,56%
Maio	33812,85	22246,27	11319,25	748,39	21497,88	96,64%	63,58%	66,52%
Total	149920,75	69871,43	82972,75	6020,71	63850,72	91,38%	42,59%	44,66%

Como é possível observar, os valores de consumo, produção, consumo depois e energia vendida à rede foram retirados das tabelas anteriores.

Os valores de autoconsumo é obtida pela diferença entre a produção e a energia vendida à RESP.

Os valores da coluna da cota de autoconsumo correspondem ao quociente do autoconsumo com a produção.

A taxa de autonomia corresponde ao resultado do quociente do autoconsumo com o consumo.

Por fim, a poupança obtida com o autoconsumo é determinada através da seguinte expressão.

$$Poupanca_m = \frac{C_m - CD_m}{C_m} \times 100 \quad (3.3)$$

Onde:

- $Poupanca_m$ - Poupança obtida no mês m , em [%];
- CD_m - Consumo depois, no mês m , em [kWh];
- C_m - Consumo no mês m , em [kWh].

Tal como seria de esperar, a poupança energética verificados nos meses de janeiro e fevereiro é bastante inferior aos valores observados nos restantes meses. Nestes 5 meses, verifica-se que sem o autoconsumo, o consumo total de energia seria de 149,92 MWh, e com o autoconsumo, o consumo total de energia reduz para 82,97 MWh. Desta forma, a poupança total é de 44,66%.

Na figura 3.13 apresenta-se, em forma mensal, um gráfico que relaciona as parcelas associadas à produção fotovoltaica.

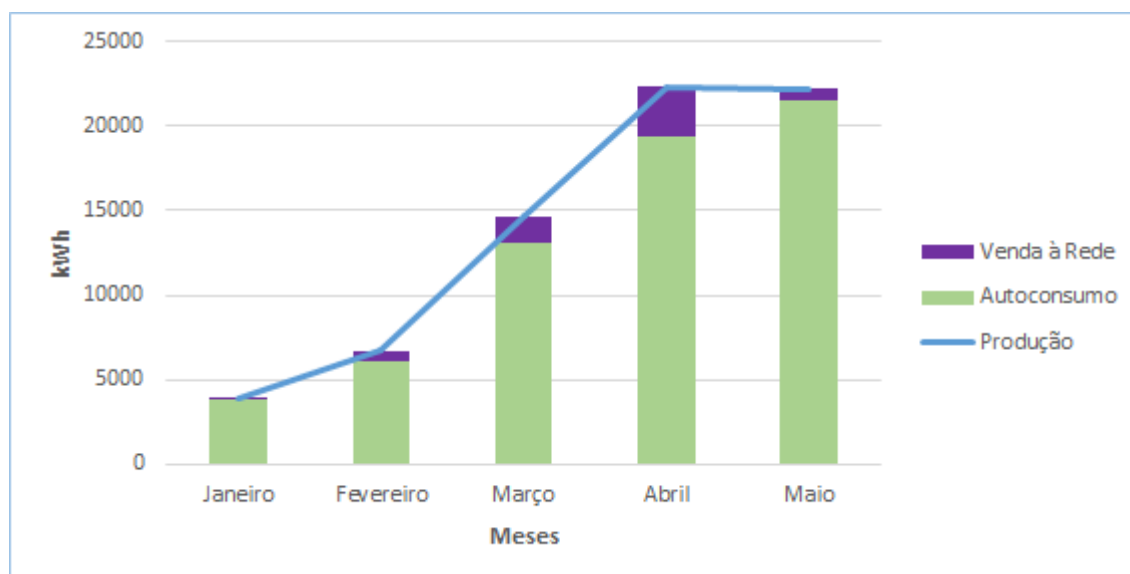


Figura 3.13: Balanço energético da energia FV.

Determinada a poupança energética, prossegue-se para a poupança na fatura elétrica.

Uma vez que já foram obtidos os preços do $OMIE_m$, presentes na tabela 3.13, e os preços da energia ativa e PHP, na tabela 3.8, foi possível elaborar a seguinte tabela.

Tabela 3.15: Poupança na fatura elétrica com e sem autoconsumo.

	Sem autoconsumo	Com autoconsumo			
Mês	Consumo (€)	Consumo Depois (€)	Venda de Energia à RESP (€)	Poupança (€)	Poupança (%)
Janeiro	4056,28	3570,41	2,76	488,62	12,05%
Fevereiro	3013,94	2219,47	26,84	821,32	27,25%
Março	3676,11	1901,79	64,97	1839,29	50,03%
Abril	4112,42	1220,26	119,55	3011,71	73,23%
Maio	4319,51	1276,11	16,79	3060,19	70,85%
Total	19178,26	10188,04	230,91	9221,13	48,08%

Os custos do consumo sem considerar autoconsumo foram retirados da tabela 3.9. Estes valores representam uma despesa média de 3.835,652 € e uma despesa total de 19.178,26 €.

Quanto aos custos do consumo considerando o autoconsumo são obtidos da mesma forma que os valores da coluna anterior, ou seja, através dos valores da tabela 3.8 com os valores da tabela 3.11. Os custos do consumo depois representam uma despesa média de 2.037,61 € e uma despesa total de 10.188,04 €, ou seja, quase metade do consumo da instalação sem autoconsumo.

Para determinar os valores de receita provenientes da energia vendida à RESP, estes são obtidos segundo a equação 2.1, tendo por base os valores de energia vendida à RESP presentes na figura 3.12 e aos preços presentes na tabela 3.13. Sendo assim, obtem-se uma receita total de 230,91 €.

A poupança é determinada através da diferença do consumo com o consumo depois, adicionando ainda os ganhos da venda de energia à RESP, que, à exceção do mês de abril, influenciam pouco a poupança obtida. Enquanto que nos meses de janeiro e fevereiro se verifica uma poupança reduzida na fatura elétrica, devido ao aumento da potência instalada na instalação fotovoltaica e do consequente aumento da produção fotovoltaica, a poupança cresceu exponencialmente nos meses seguintes. Desta forma, observa-se uma poupança total de 9.221,13€, que corresponde a 48,08% do consumo de energia total se não houvesse autoconsumo.

Em jeito de conclusão, a figura seguinte faz uma comparação dos valores da fatura elétrica com e sem autoconsumo para cada um dos meses estudados.

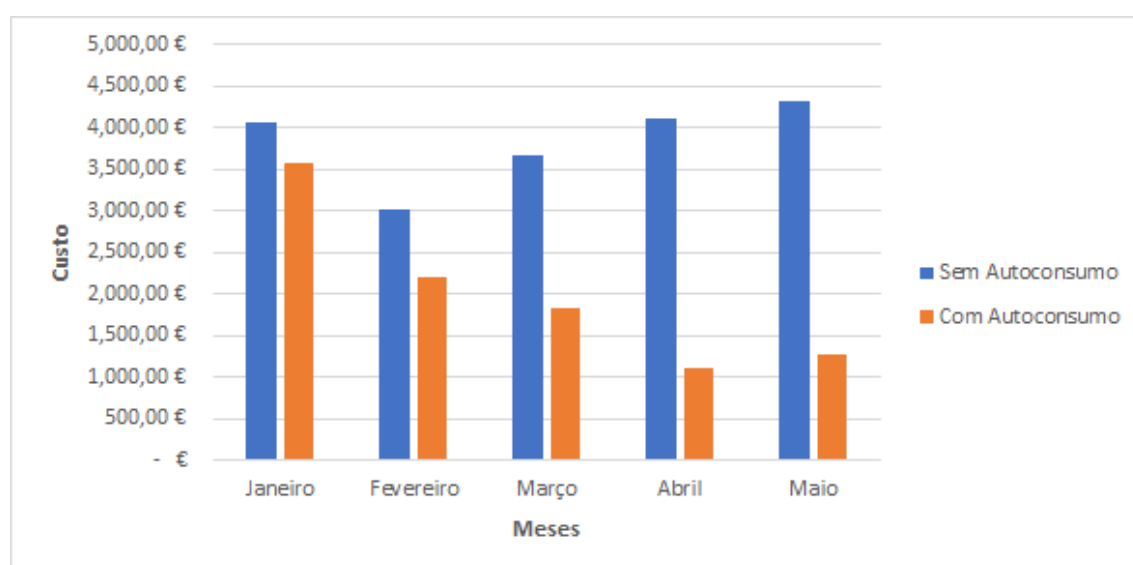


Figura 3.14: Fatura elétrica com e sem autoconsumo.

Capítulo 4

Conclusões e Trabalho Futuro

4.1 Conclusões

Atualmente, a energia solar fotovoltaica tem demonstrado um elevado potencial, tendo por isso verificado um vasto número de investimentos um pouco por todo o mundo. Portugal tem apostado nesta tecnologia, tal como pode ser evidenciado através da evolução da potência instalada fotovoltaica no país. No início deste ano, a potência fotovoltaica ligada à RESP era de 465 MW e até 2020, prevê-se que seja atingido os 670 MW. [6]

De forma a impulsionar o investimento em sistemas fotovoltaicos e outras fontes renováveis, surgiu o Decreto-Lei nº 153/2014, que tem como um dos objetivos fundamentais a promoção do autoconsumo, destinado essencialmente para a produção de eletricidade de maneira a satisfazer energeticamente o próprio consumo, com a possibilidade de ligação à rede para venda dos excedentes. [5]

O aproveitamento da energia solar requer recursos que inicialmente eram considerados dispendiosos, no entanto, com o aumento de instalações fotovoltaicas instaladas, com o desenvolvimento da sua tecnologia e com os incentivos impostos pelo governo, o custo de instalação destas tecnologia tem vindo a descer, tornando-se cada vez mais rentável a sua instalação.

De maneira a rentabilizar as instalações fotovoltaicas, é necessário a implementação de sistemas de monitorização. A integração de um sistema de monitorização possibilita o acompanhamento pormenorizado das instalações, assegurando a segurança e a eficiência das operações do sistema fotovoltaico.

Ao longo desta dissertação foi desenvolvido um sistema de monitorização a ser implementado em unidades de produção para autoconsumo. O sistema de monitorização criado é constituído por um *data logger*, que serviu como componente mestre para garantir a comunicação com os inversores, contador e com o relé de proteção de interligação. De modo a garantir esta comunicação, foram determinadas as características de comunicação de cada um dos componentes, mais especificamente, os meios e os protocolos de comunicação disponíveis em cada um destes. De

seguida, com base nas suas características, foram identificadas todas as possíveis formas de interligar os equipamentos. Por fim, foi determinado o sistema de monitorização ideal e foi descrita a implementação desse sistema numa unidade de produção para autoconsumo tipo.

A interface escolhida foi o RS-485 por ter sido aquela que todos os componentes de monitorização tinham em comum e por ser a única disponibilizada pelo *data logger* e pelo inversor. Relativamente ao protocolo, foi escolhido o Modbus RTU por ser o único protocolo usado pelo *data logger* e por ser o único protocolo que os restantes componentes do sistema de monitorização tinham em comum. Desta forma, todas as ligações entre o *data logger* e os restantes componentes de monitorização deverão ser feitas recorrendo à interface RS-485 e utilizando o protocolo Modbus RTU. Este sistema de monitorização apresenta uma arquitetura bastante simples, o que traz como vantagens a não necessidade de realizar adaptações e, uma vez que o Modbus é um protocolo bastante difundido, é fácil garantir as ligações entre os equipamentos constituintes.

A segunda parte deste trabalho consistiu em determinar o impacto económico do autoconsumo na fatura elétrica da empresa. Para isso, estava previsto obter os valores de produção e consumo da UPAC através da comunicação entre o *data logger* com os inversores, e através do *data logger* com um contador, respetivamente. Porém, devido a questões técnicas, não foi possível realizar a ligação entre o *data logger* e o contador de energia consumida. Desta maneira, recorreu-se então aos dados de produção e de consumo depois, que tal como foi discutido previamente, apresentaram algumas restrições. Através dessas duas variáveis, foi elaborada uma expressão para prever os valores de consumo que, como seria de esperar, revelou algumas falhas em determinadas situações.

Após o tratamento dos dados, seguiu-se o estudo da viabilidade económica do autoconsumo. Neste estudo foi possível concluir que, graças ao autoconsumo, ocorreu uma poupança total de aproximadamente metade do que seria pago pela instalação de utilização da empresa, caso não se considera-se o autoconsumo. Desta forma, em termos de fatura elétrica, conclui-se que o autoconsumo é bastante benéfico. Convém ainda referir que os valores finais de poupança correspondem a uma aproximação dos valores reais, devido às limitações apresentadas ao longo do estudo.

Concluiu-se assim que todos os objetivos iniciais desta dissertação foram alcançados com êxito.

4.2 Trabalhos Futuros

Como trabalho futuro sugere-se o aperfeiçoamento do sistema de monitorização, ou seja, a inclusão de novos componentes de maneira a expandir as suas funções e oferecer ao utilizador um maior acompanhamento da instalação em que está integrado.

Também é sugerido um novo estudo do efeito do autoconsumo, já com os dados de consumo disponíveis, a fim de comparar com o cenário apresentado nesta dissertação.

Anexo A

Folha de Características

A.1 Datalogger

SmartLogger



Smart

- MODBUS-TCP for connections to Huawei NetEco
- IEC60870-5-104 for connections to third-party monitoring systems
- USB and embedded web for data reading and software upgrade
- Automatically detecting equipment and assigning RS485 addresses
- Remote control of active & reactive power

Simple

- Up to 80 inverters feeding into one Smart Logger
- Up to 30 devices per RS485 bus
- Easy to install on walls, tabletops and rails mounting

Stable

- Max. reliable communication range of 1000m
- Remote configuration, automatic set-up of RS485 addresses

Technical Specifications	Smart Logger
	Device Management
Max. Number of Devices	80
Communication Interface	3 x RS485
Max. Communication Range	1000 m (3,280 ft)
	Display
LCD	3.5 inch Graphic LCD
LED	3 LEDs
Web	Embedded Web
	General Data
Power Supply	100 V ~ 240 VAC, 50 Hz / 60 Hz
Power Consumption	Typical: 3 W, Maximum: 7 W
Memory	32 MB flash memory, expanded to 16 GB with optional SD card
Language	English, Chinese, German, Italian, Japanese, French
Dimensions (W/H/D)	225 x 140 x 50 mm (8.9 x 5.5 x 2.0 inch)
Operating Temperature Range	-20 °C to +60 °C (-4 °F to +140 °F)
Relative Humidity (Non-condensing)	5 - 95%
Degree of Protection	IP20
Installation Option	Wall mounting, Tabletop, Rail mounting
Safety / EMC	EN 55022:2010, CISPR 22:2008, EN 55024:2010, CISPR 24:2010, AS/NZS CISPR22, IEC/EN 61000-3, IEC/EN 61000-6, IEC/EN 60960-1
	Interface
Ethernet	10 / 100 M, Modbus - TCP, IEC60870-5-104
RS485	Modbus - RTU
USB	Yes
Number of Digital Inputs	4
Number of Analog Inputs	2
Number of Relays	3

Always Available for Highest Yields



www.huawei.com/solar

NetEco



Smart

- Easy data accesses on mobile devices
- Proactive reports of yields and alarms



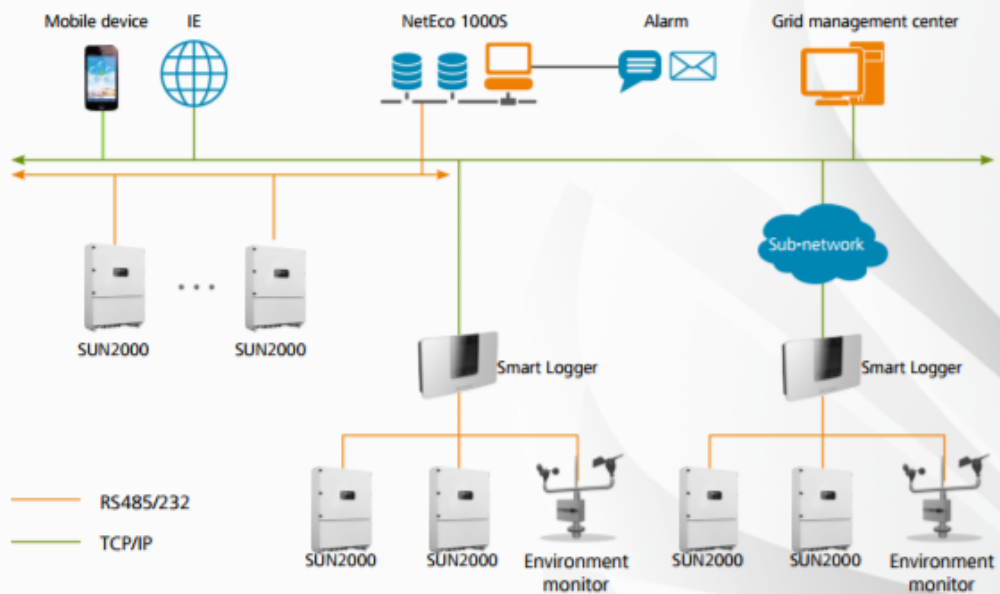
Simple

- One-click installation on PC
- Fault alarms via SMS and E-mail

Stable

- Hierarchical management
- Up to 25 years data storage with CSV files

Network Structure



Always Available for Highest Yields



www.huawei.com/solar

A.2 Inversor

String Inverter (SUN2000-33KTL)



Smart

- Maximum of 3 MPPT for versatile adaptations to different module types or quantities built up with different alignments
- 6 strings intelligent monitoring and 80% time saving for fault detection
- Power Line Communication (PLC) supported
- Adaptive Edge MPPT for fast tracking

Efficient

- Max. efficiency 98.6%, European efficiency 98.3%
- Easy to install with the weight of 50kg

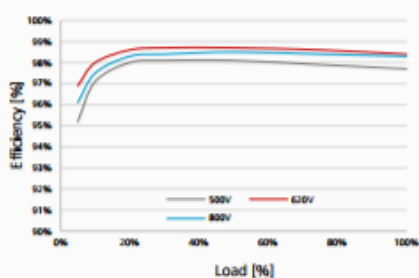
Safe

- DC disconnect integrated, safe and convenient for maintenance
- Type II surge arresters for both DC and AC
- Ground fault protection
- Residual Current Detection (RCD) protection

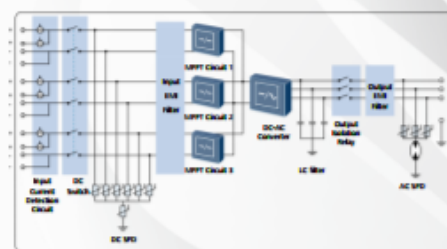
Reliable

- No need for external fans with natural cooling technology
- Protection rating of IP65

Efficiency Curve



Circuit Diagram



Always Available for Highest Yields



www.huawei.com/solar

String Inverter (SUN2000-33KTL)



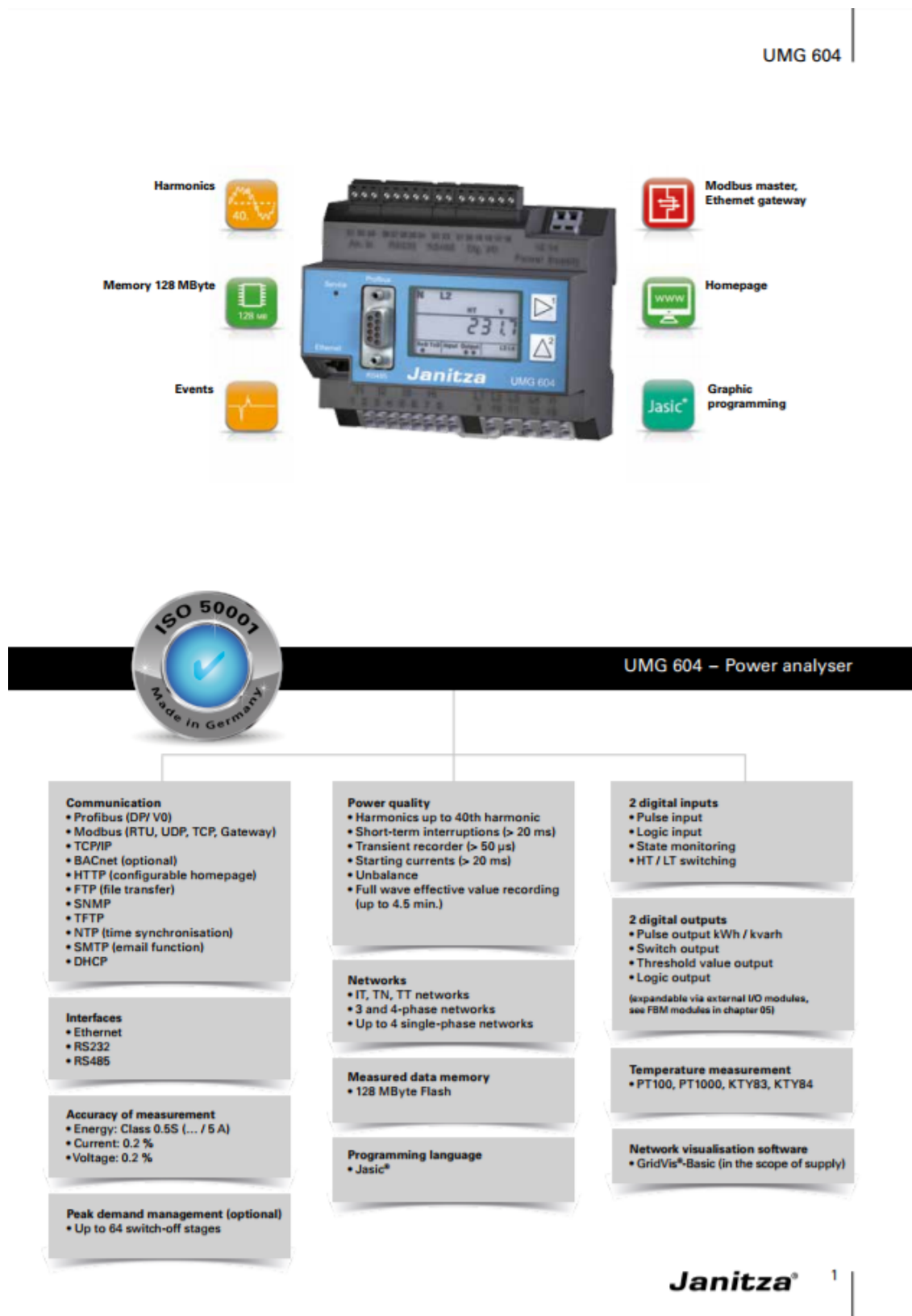
Technical Specifications	SUN2000-33KTL
	Efficiency
Max. Efficiency	98.6%
European Efficiency	98.3%
	Input
Max. DC Usable Power	30,600 W
Max. Input Voltage	1,000 V
Max. Current per MPPT	23 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	32 A
Min. Operating Voltage / Start Input Voltage	200 V / 250 V
Full Power MPPT Voltage Range	480 V ~ 800 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 950 V
Rated Input Voltage	620 V
Max. Number of Inputs	6
Number of MPP Trackers	3
	Output
Rated AC Active Power	30,000 W
Max. AC Apparent Power	33,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	30,000 W
Rated Output Voltage	220V / 380V, 230V / 400V, 3W+N+PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Max. Output Current	48 A
Adjustable Power Factor	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
	Protection
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-Islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Overcurrent Protection	Fusible
DC Reverse-Polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
Insulation Monitoring	Yes
Residual Current Detection	Yes
	Communication
Display	LED Indicators
RS-485	Yes
USB / Bluetooth + APP	Yes
Power Line Communication (PLC)	Optional
	General
Dimensions (W×H×D)	550×770×270 mm (21.7×30.3×10.6 inch)
Weight	50 kg (110 lb)
Operation Temperature Range	-25 °C ~ +60 °C (-13°F ~ +140°F)
Cooling	Natural Convection
Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft)
Relative Humidity	0 ~ 100%
DC Connector	Amphenol H4
AC Connector	Waterproof PG Terminal + OT Connector
Protection Rating	IP65
Internal Consumption at Night	< 1 W
Topology	Transformerless
Noise Emission (Typical)	<33 dB
	Standards Compliance
Safety/EMC	EN 61000-3, EN 61000-6, EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2, IEC 60529
Grid Code	IEC61727, IEC62116, IEC 61683, IEC 60068-2, EN50438, CGC/GF 035-2013, GB/T 19954-2012, NABT 32004-2013, VDE-AR-N4105, VDE0126-1-1, BDEW 2008, GS/93, AS4777, UTE C 15-712-1, C10411, RD1669, REA 2013, Resolution No. 02, NRS 097

Always Available for Highest Yields



www.huawei.com/solar

A.3 Contador



UMG 604

Areas of application



- Master device for energy management systems, (e.g. ISO 50001)
- Measurement, monitoring and checking of electrical characteristics in energy distribution systems
- Consumption data acquisition
- Monitoring of the power quality (harmonics, short-term interruptions, transients, starting currents, etc.)
- Measured value transducer for building management systems or PLC
- Control tasks e.g. depending on measured value or limit values being reached
- Peak demand management
- Ethernet gateway for subordinate measurement points
- Remote monitoring



Main features



Power quality

- Harmonics analysis up to 40th harmonic
- Unbalance
- Distortion factor THD-U / THD-I
- Measurement of positive, negative and zero sequence component
- Short-term interruptions (> 20 ms)
- Logging and storage of transients (> 50 μ s)
- Start-up processes
- Fault recorder function
- Rotary field indication

DIN mounting rail (6TE):

Simple and cost-optimised installation

- Mounting on a 35 mm DIN rail
- Clear cost advantages in the switch cabinet construction through lower installation and connection effort
- Simple integration into the LVDB, in machinery construction, in installation subdistribution panel for building management systems, in IT and in data centres



Modem communications architecture via Ethernet

- Rapid, cost-optimised and reliable communication through integration into an existing Ethernet architecture
- Integration in PLC systems and building management systems
- High flexibility due to the use of open standards
- Simultaneous polling of interfaces possible



Fig.: DIN rail mounting (6TE)

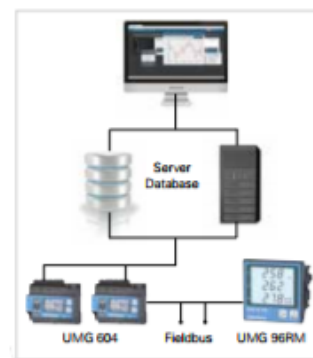


Fig.: Modem communication architecture

UMG 604

**Ethernet-Modbus gateway**

- Simple integration of Modbus-RTU devices into an Ethernet architecture through the Modbus gateway function
- Integration of devices with identical file formats and matching function codes possible via Modbus RTU interface

**High-speed Modbus**

- Fast and reliable data exchange via RS485 interface
- Speed up to 921.6 kB/s

**Graphical programming**

- Comprehensive programming options on the device, 7 programs simultaneously (PLC functionality)
- Jasic® source code programming
- Functional expansions far beyond pure measurement
- Complete APPs from the Janitza library

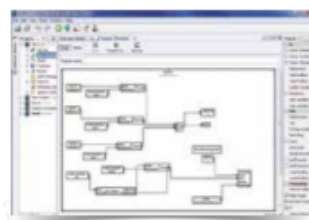


Fig.: Graphical programming

**Convenient home page and email functions**

- Information can be received conveniently by email and via the device homepage
- Access to powerful device homepage via web browser
- Online data, historical data, graphs, events and much more, is available direct from the homepage



Fig.: Illustration of the online data via the device's own homepage

**Large measurement data memory**

- 128 MByte
- 5,000,000 saved values
- Recording range up to 2 years
- Recording freely configurable



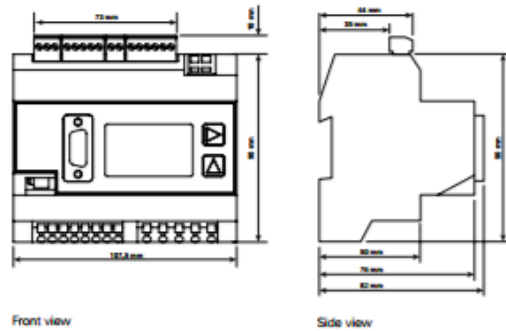
Fig.: Large measurement data memory

UMG 604

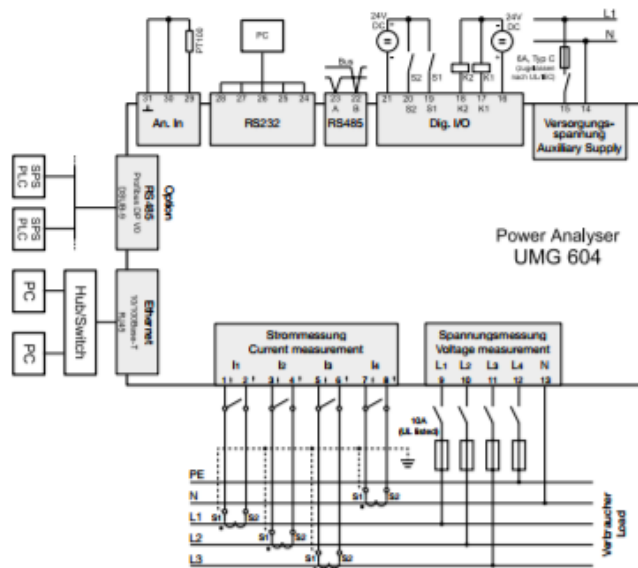


Dimension diagrams

All dimensions in mm



Typical connection



UMG 604



Device overview and technical data

	UMG 604E			UMG 604EP	
Item number	52.16.202	52.16.012	52.16.222	52.16.201	52.16.221
Item number (UL)	52.16.202	-	52.16.222	52.16.201	52.16.221
Supply voltage AC	95 ... 240 V AC	50 ... 110 V AC	20 ... 50 V AC	95 ... 240 V AC	20 ... 50 V AC
Supply voltage DC	135 ... 340 V DC	50 ... 155 V DC	20 ... 70 V DC	135 ... 340 V DC	20 ... 70 V DC
Communication					
Interfaces					
RS485: 9.6 - 921.6 kbps (Screw-type terminal)	*	*	*	*	*
RS232: 9.6 - 115.2 kbps (Screw-type terminal)	*	*	*	*	*
Profibus DP: Up to 12 Mbps (DSub-9 plug)	*	*	*	*	*
Ethernet 10/100 Base-TX (RJ-45 socket)	*	*	*	*	*
Protocols					
Modbus RTU, Modbus TCP, Modbus RTU over Ethernet	*	*	*	*	*
Modbus Gateway for Master-Slave configuration	*	*	*	*	*
Profibus DP V0	*	*	*	*	*
HTTP (homepage configurable)	*	*	*	*	*
SMTP (email)	*	*	*	*	*
NTP (time synchronisation)	*	*	*	*	*
TFTP	*	*	*	*	*
FTP (File-Transfer)	*	*	*	*	*
SNMP	*	*	*	*	*
DHCP	*	*	*	*	*
TCP/IP	*	*	*	*	*
BACnet (optional)	*	*	*	*	*
ICMP (Ping)	*	*	*	*	*
Device options					
BACnet communication	52.16.081	52.16.081	52.16.081	52.16.081	52.16.081

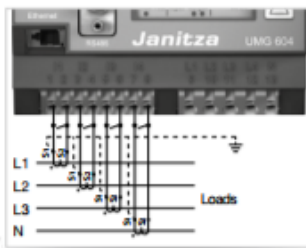


Fig.: Current measurement via current transformers

General	
Use in low and medium voltage networks	*
Accuracy voltage measurement	0.2 %
Accuracy current measurement	0.25 %
Accuracy active energy (kWh, ...J A)	Class 0.5S
Number of measurement points per period	400
Uninterrupted measurement	*
RMS - momentary value	
Current, voltage, frequency	*
Active, reactive and apparent power / total and per phase	*
Power factor / total and per phase	*
Energy measurement	
Active, reactive and apparent energy [L1,L2,L3, L4, Σ L1-L3, Σ L1-L4]	*
Number of tariffs	8
Recording of the mean values	
Voltage, current / actual and maximum	*
Active, reactive and apparent power / actual and maximum	*
Frequency / actual and maximum	*
Demand calculation mode (bi-metallic function) / thermal	*
Other measurements	
Clock	*
Weekly timer	Basic*

Comment:
For detailed technical information please refer to the operation manual and the Modbus address list.

* = included - = not included

UMG 604

Power quality measurements	
Harmonics per order / current and voltage	1st – 40th
Harmonics per order / active and reactive power	1st – 40th
Distortion factor THD-U in %	*
Distortion factor THD-I in %	*
Voltage unbalance	*
Current and voltage, positive, zero and negative sequence component	*
Transients	50 µs
Error / event recorder function	*
Short-term interruptions	20 ms
Oscillogram function (waveform U and I)	*
Full wave effective values (U, I, P, Q)	*
Under and overvoltage recording	*
Measured data recording	
Memory (Flash)	128 MB
Average, minimum, maximum values	*
Measured data channels	8
Alarm messages	*
Time stamp	*
Time basis average value	freely user-defined
RMS averaging, arithmetic	*
Displays and inputs / outputs	
LCD display	*
Digital inputs	2
Digital outputs (as switch or pulse output)	2
Thermistor input (PT100, PT1000, KTY83, KTY84)	*
Voltage and current inputs	each 4
Password protection	*
Peak load management (optionally 64 channels)	*
Software GridVis®-Basic*	
Online and historic graphs	*
Databases (Janitza DB, Derby DB; MySQL, MS SQL with higher GridVis® versions)	*
Manual reports (energy, power quality)	*
Graphical programming	*
Topology views	*
Manual read-out of the measuring devices	*
Graph sets	*
Programming / threshold values / alarm management	
Application programs freely programmable	7
Graphical programming	*
Programming via source code Jasic®	*
Technical data	
Type of measurement	Constant true RMS Up to 40th harmonic
Nominal voltage, three-phase, 4-conductor (L-N, L-L)	277 / 480 V AC
Nominal voltage, three-phase, 3-conductor (L-L)	480 V AC
Measurement in quadrants	4
Networks	TN, TT, IT
Measurement in single-phase/multi-phase networks	1 ph, 2 ph, 3 ph, 4 ph and up to 4 times 1 ph
Measured voltage input	
Overvoltage category	300 V CAT III
Measured range, voltage L-N, AC (without potential transformer)	10 ... 600 Vrms
Measured range, voltage L-L, AC (without potential transformer)	18 ... 1,000 Vrms
Resolution	0.01 V
Impedance	4 MΩhm / phase
Frequency measuring range	45 ... 65 Hz
Power consumption	approx. 0.1 VA
Sampling frequency	20 kHz / phase
Transients	> 50 µs

Comment:
For detailed technical information please refer to the operation manual and the Modbus address list.

* = included - = not included

*1 Optional additional functions with the packages GridVis®-Professional, GridVis®-Service and GridVis®-Ultimate.

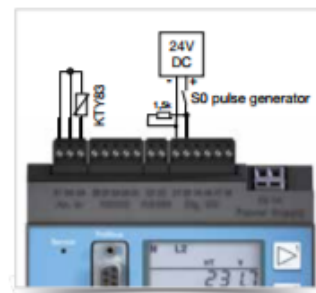


Fig.: Example temperature input (KTY83) and 50 pulse transducer

UMG 604

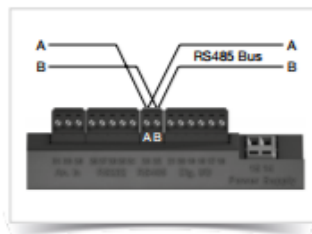


Fig.: RS485 interface, 2 pin plug contact

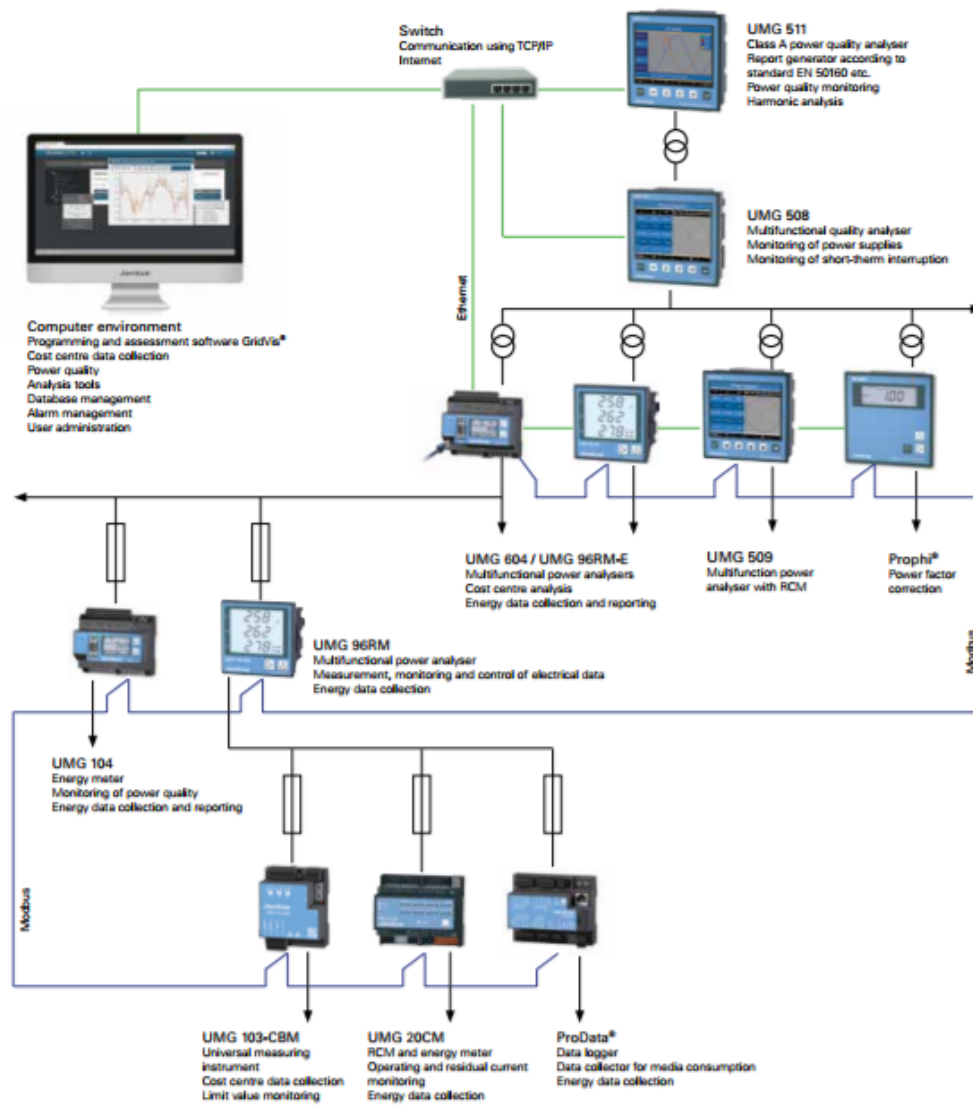
Measured current input	
Rated current	1 / 5 A
Resolution	1 mA
Measurement range	0.001 ... 8.5 Amps
Overvoltage category	300 V CAT III
Measurement surge voltage	4 kV
Power consumption	approx. 0.2 VA (RI = 5 MΩm)
Overload for 1 sec.	100 A (sinusoidal)
Sampling frequency	20 kHz
Digital inputs and outputs	
Number of digital inputs	2
Maximum counting frequency	20 Hz
Input signal present	18 ... 28 V DC (typical 4 mA)
Input signal not present	0 ... 5 V DC, current < 0.5 mA
Number of digital outputs	2
Switching voltage	max. 60 V DC, 30 V AC
Switching current	max. 50 mA Eff AC / DC
Output of voltage dips	20 ms
Output of voltage exceedance events	20 ms
Pulse output (energy pulse)	max. 20 Hz
Maximum cable length	up to 30 m unscreened, from 30 m screened
Mechanical properties	
Weight	350 g
Device dimensions in mm (H x W x D)	90 x 107.5 x approx. 82
Battery	Type Lithium CR2032, 3 V
Protection class per EN 60529	IP20
Assembly per IEC EN 60959-1 / DIN EN 50022	35-mm DIN rail
Connecting phase (U / I), Single core, multi-core, fine-stranded	0.08 to 2.5 mm ²
Terminal pins, core end sheath	1.5 mm ²
Environmental conditions	
Temperature range	Operation: K55 (-10 ... +55 °C)
Relative humidity	Operation: 5 to 95 % (at 25 °C)
Operating height	0 ... 2,000 m above sea level
Degree of pollution	2
Installation position	user-defined
Electromagnetic compatibility	
Electromagnetic compatibility of electrical equipment	Directive 2004/108/EC
Electrical appliances for application within particular voltage limits	Directive 2006/95/EC
Equipment safety	
Safety requirements for electrical equipment for measurement, regulation, control and laboratory use – Part 1: General requirements	IEC/EN 61010-1
Part 2-030: Particular requirements for testing and measuring circuits	IEC/EN 61010-2-030
Noise immunity	
Industrial environment	IEC/EN 61326-1
Electrostatic discharge	IEC/EN 61000-4-2
Voltage dips	IEC/EN 61000-4-11
Emissions	
Class B: Residential environment	IEC/EN 61326-1
RFI Field Strength 30 – 1,000 MHz	IEC/CISPR11/EN 55011
Radiated interference voltage 0.15 – 30 MHz	IEC/CISPR11/EN 55011
Safety	
Europe	CE labelling
USA and Canada	UL variants available
Firmware	
Firmware update	Update via GridVis® software. Firmware download (free of charge) from the website: http://www.janitza.com

Comment:

For detailed technical information please refer to the operation manual and the Modbus address list.

• = included - = not included

UMG 604



A.4 Relé de Proteção de interligação





- Full Colour Touchscreen Display
- 3 x Status LEDs
- 8 x Programmable LEDs
- USB Connections as Standard
- Stainless Steel Housing
- Pluggable Connections
- Multi Lingual
- Customisable Menu Screens
- Self Diagnostic

- 3 x Processors for Ultimate Reliability and Speed Off Operation
- All Protection Functions Included without Additional Costs
- Control of Circuit Breaker
- IEC61850, -103, Profibus, etc.
- SYMAP® Parameter Tool Software
- 4 x Parameter Sets
- Remote Display (optional)

SYMAP®-Compact Technical Data

Description	Specification
Dimensions (H x W x D)	210 x 210 x 87 (mm)
Car Out (H x W)	192 x 192 (mm)
Weight	2.2 kg
Auxiliary Supply	24/48/60/110/200V DC, 110/230V AC
Power Consumption	< 20 W
Climatic Conditions	Operation: -20°C to +70°C Maximum: -40°C to +70°C Shipping: -40°C to +70°C Rel. Humidity: < 80 %
Housing	Front: IP54 (IEC529) Rear: IP20 (IEC529)
Max. Connections	Spring Terminals: Max. 1.5 mm Current Terminals: Max. 6 mm

Stucke Elektronik GmbH
Stucke Elektronik have designed and manufactured premium quality, high performance electronic devices in Hamburg since 1968. Our systems provide supervision, protection and control to ensure optimum reliability for your electrical supply. To guarantee the highest quality all our products are manufactured exclusively in Hamburg, Germany.

Stucke have been specialists in electronic protection systems for over 40 years. Our company is certified according to DIN EN ISO 9001:2008.

Stucke Elektronik GmbH
Hilfenring 26 • 22143 Hamburg - Germany
Phone +49(0)40 2274 68 11 • Fax +49(0)40 2274 68 24
mail@stucke.de • www.stucke.de

Stucke Worldwide:
Düsseldorf - Stuttgart - Madrid - Lisbon - London - Treviso - Belgrade
St. Petersburg - Los Angeles - Panama City
Seoul - Ulsan - Shanghai - Singapore - Mumbai - Brisbane



SYMAP®-Compact

Digital Protection and Control Relays

User-friendly, Flexible and Future Proof

Protection for:

- Motors and Generators
- Transformers
- Transmission & Distribution Systems
- Mains Decoupling

(incl. G59/G10/BDEW/VDN)

- Feeders

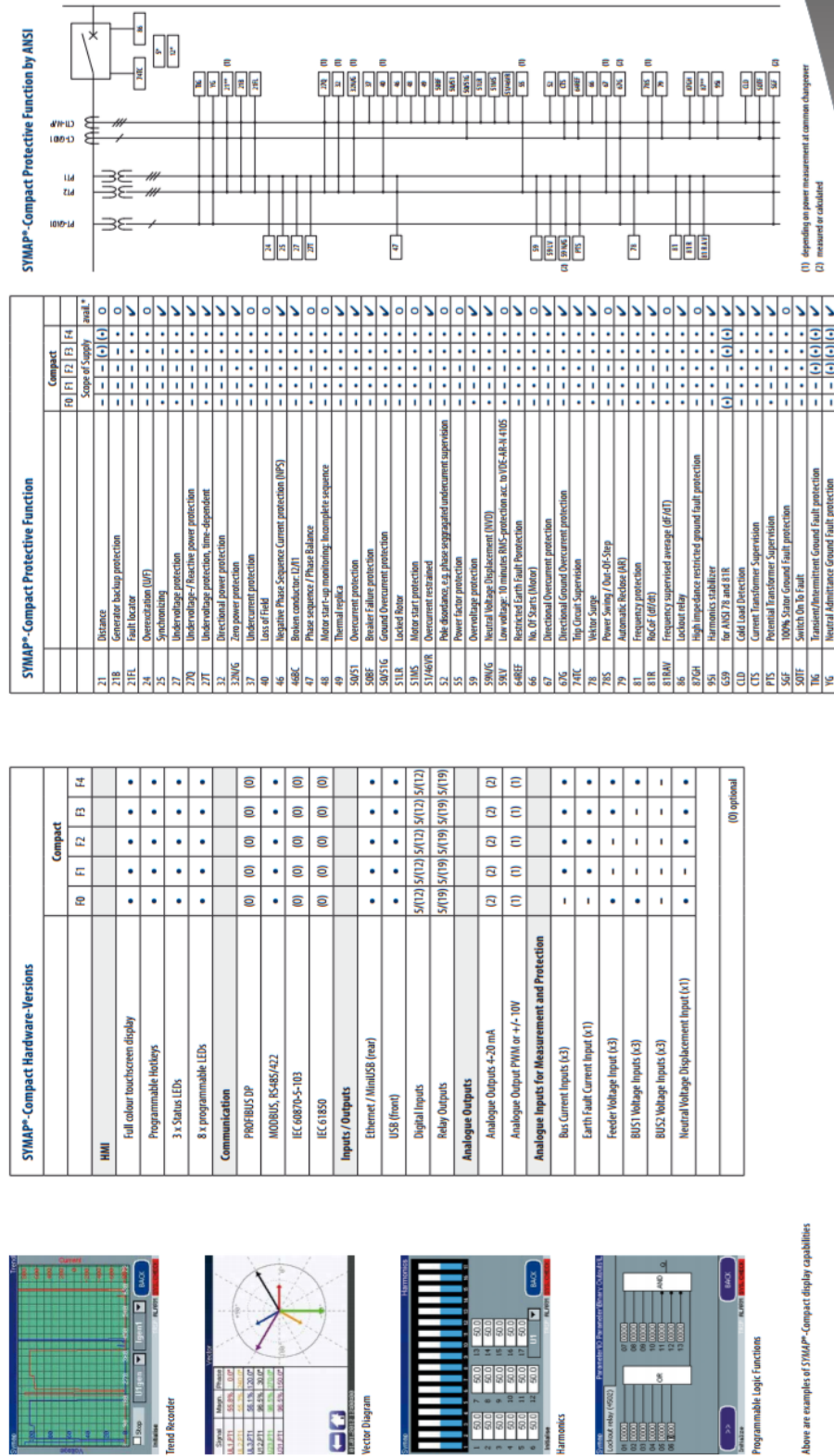
The **SYMAP®-Compact** range of relays offer flexible digital protection for a wide range of LV and HV applications.

At the heart of the SYMAP® is a large, full colour, touch screen display which quickly enables complete programming of all protection and control functions. Alternatively you can do this via PC using the standard USB connection. The fully programmable nature of these relays gives you an extremely versatile and cost effective solution for all switchgear applications. All **SYMAP®-Compact** devices are made in Germany.

GOOSE performance class P1

DNV KEMA tested





Above are examples of SYMAP®-Compact display capabilities

Anexo B

Tabelas Complementares

Anexo C

Código VBA e Macro

C.1 VBA

Option Explicit

```
'importar colunas dos ficheiros
Sub ImportarDados()
'variable declarations
Dim wb As Workbook, wbThis As Workbook
Dim directorio As String, ficheiro As String, extensao As String
Dim pasta As FileDialog
Dim contlinhas1 As Long, contlinhas2 As Long, n As Long

contlinhas1 = 0
contlinhas2 = 0
'set to the current active workbook (the central book)
    Set wbThis = ActiveWorkbook

'Optimize Macro Speed
    Application.ScreenUpdating = False
    Application.EnableEvents = False
    Application.Calculation = xlCalculationManual

'Retrieve Target Folder Path From User
    Set pasta = Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)

    With pasta
        .Title = "Selecione a PASTA que contem os ficheiros a importar"
        .AllowMultiSelect = False
        If .Show <> -1 Then GoTo NextCode
        directorio = .SelectedItems(1) & "\"
    End With

'In Case of Cancel
NextCode:
    directorio = directorio
    If directorio = "" Then GoTo ResetSettings
'Target File Extension (must include wildcard "**")
    extensao = "*.csv"

'Target Path with Ending Extention
    ficheiro = Dir(diretorio & extensao)

'Loop through each Excel file in folder
Do While ficheiro <> ""
    'Set variable equal to opened workbook
    Set wb = Workbooks.Open(Filename:=diretorio & ficheiro)
    contlinhas1 = wbThis.Worksheets("Semanal").Range("A2").CurrentRegion.Rows.Count
```



```

    contlinhas2 = wb.Worksheets(1).Range("A1").CurrentRegion.Rows.Count

    wb.Worksheets(1).Range("A2:A" & contlinhas2).Copy wbThis.Worksheets("Semanal").Range("A" & contlinhas1 - 1)
    wb.Worksheets(1).Range("B2:B" & contlinhas2).Copy wbThis.Worksheets("Semanal").Range("B" & contlinhas1 - 1)
    'Save and Close Workbook
    wb.Close SaveChanges:=False
    'Get next file name
    ficheiro = Dir
Loop
n = contlinhas1 + contlinhas2 - 3
Worksheets("Semanal").Range("C4").Select
Range(Selection, Selection.End(xlToRight)).Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("C4:V" & n)

ResetSettings:
'Reset Macro Optimization Settings
Application.EnableEvents = True
Application.Calculation = xlCalculationAutomatic
Application.ScreenUpdating = True
Range("A1").Select
End Sub

```

C.2 Macro

```

|VERSION BUILD=844 RECORDER=CR
|URL GOTO=https://52.58.159.100:****/index.action
|TAG POS=1 TYPE=INPUT:TEXT FORM=ID:loginForm ATTR=ID:userName CONTENT=*****
|TAG POS=1 TYPE=INPUT:PASSWORD FORM=ID:loginForm ATTR=ID:password CONTENT=*****
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=TEXT:Login
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=TEXT:Data<SP>Analysis
|FRAME F=1
|TAG POS=1 TYPE=B ATTR=CLASS:arrow&&TXT:
|TAG POS=1 TYPE=B ATTR=CLASS:arrow&&TXT:
|TAG POS=1 TYPE=B ATTR=CLASS:arrow&&TXT:
|TAG POS=1 TYPE=B ATTR=CLASS:arrow&&TXT:
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=TEXT:1
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=ID:kpiSetDiv_power3
|TAG POS=4 TYPE=A ATTR=TEXT:OK
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=ID:PV_performance_query
|TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=ID:icon_toggle
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconDown.png
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TEXT:Export
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=ID:PV_performance_query
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TEXT:Export
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=ID:PV_performance_query
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=ID:performance_export
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=ID:PV_performance_query
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TEXT:Export
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=ID:PV_performance_query
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TEXT:Export
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png
|TAG POS=1 TYPE=A ATTR=ID:PV_performance_query
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TEXT:Export
|WAIT SECONDS=2
|TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png

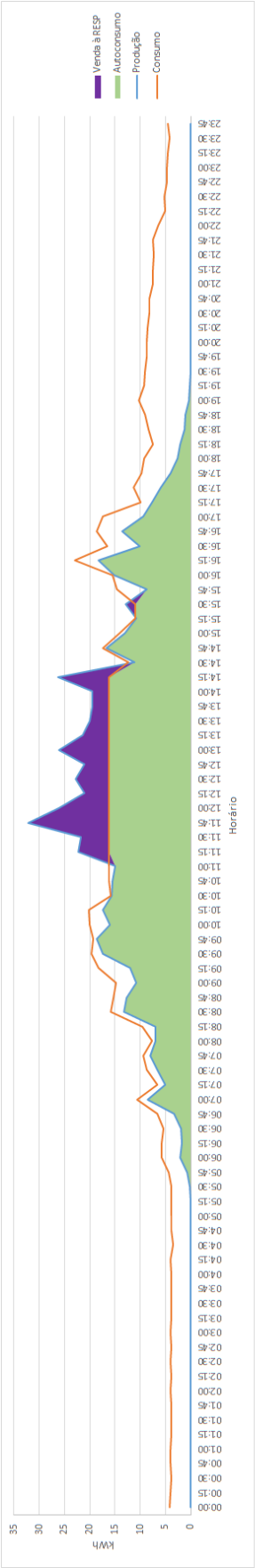
```

[illegible]


```
TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TXT:Export  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png  
TAG POS=1 TYPE=A ATTR>ID:PV_performance_query  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TXT:Export  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png  
TAG POS=1 TYPE=A ATTR>ID:PV_performance_query  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TXT:Export  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png  
TAG POS=1 TYPE=A ATTR>ID:PV_performance_query  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TXT:Export  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png  
TAG POS=1 TYPE=A ATTR>ID:PV_performance_query  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TXT:Export  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=IMG ATTR=SRC:https://52.58.159.100:8443/common/images/TimeIconUp.png  
TAG POS=1 TYPE=A ATTR>ID:PV_performance_query  
WAIT SECONDS=2  
TAG POS=1 TYPE=SPAN ATTR=TXT:Export  
WAIT SECONDS=2
```


Anexo D

Balanço energético diário



Autoconsumo 86,68%

Referências

- [1] R. Castro, *Uma Introdução às Energias Renováveis*. IST Press, 1 ed., 2011.
- [2] V. Quaschnig, *Understanding Renewable Energy Systems*. Earthscan, 2005.
- [3] M. do Ambiente do Ordenamento do Território e Energia, “Decreto-Lei n.º 68-A/2015,” *Diário da República*, no. 84, 2015.
- [4] P. E. E. D. Conselho, “Diretiva 2012/27/UE,” *Jornal Oficial da União Europeia*, 2012.
- [5] M. do Ambiente Ordenamento do Território e Energia, “Decreto-Lei nº 153/2014,” *Diário da República*, 2014. URL: <https://dre.pt/application/file/58428682>.
- [6] M. do Ambiente, “DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia.” URL: <http://www.dgeg.pt/>.
- [7] Solargis, “Free maps.” <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/overview/>.
- [8] Shell, “Shell energy scenarios,” *Shell*, 2008.
- [9] C. Monteiro, “Autoconsumo, na perspetiva de consumidores industriais, e não só.” http://www.voltimum.pt/sites/www.voltimum.pt/files/pdflibrary/euniversity_autoconsumo_cdm_final.pdf.
- [10] Energiapt, “Autoconsumo e pequena produção de eletricidade.” <http://www.energia.pt/pt/fotovoltaico>.
- [11] M. Latour, “Net-metering and self-consumption schemes in europe,” *European Photovoltaic Industry Association, Presentation IEA-PVPS-EPIA WS*, 2013.
- [12] T. Engenharia, “Sistemas fotovoltaicos de autoconsumo.” <http://tecnalbi.com/conteudo.php?id=8>.
- [13] G. Savers, “7 vantagens do novo modelo de autoconsumo de eletricidade para as empresas.” <https://greensavers.sapo.pt/2015/02/7-vantagens-do-novo-modelo-de-autoconsumo-de-electricidade-para-as-empresas> 2015.
- [14] M. d. E. d. I. e. do Desenvolvimento, “Decreto-Lei n.º 34/2011,” 2011. URL: http://www.oern.pt/documentos/legislacao/d_dl_dr/DL34_2011.pdf.
- [15] M. da Economia e da Inovação, “Decreto-Lei nº 363/2007,” *ADENE - Agência para a Energia*, 2014. URL: <http://www.adene.pt/sites/default/files/0797807984.pdf>. [Data de último acesso: 25-06-2017].

- [16] M. d. A. O. d. T. e. da Energia, “Portaria n.º 14/2015,” *Diário da República*, 2015. URL: http://www.apisolar.pt/images/stories/Legislacao/Portaria_n.14_2015.pdf.
- [17] M. d. A. O. d. T. e. Energia, “Portaria n.º 15/2015,” *Diário da República*, 2015. URL: http://www.apisolar.pt/images/stories/Legislacao/Portaria_n.15_2015.pdf.
- [18] M. d. A. O. d. T. e. Energia, “Portaria n.º 60-E/2015,” *Diário da República*, 2015. URL: http://www.apisolar.pt/images/stories/Legislacao/Portaria_n.60-E_2015.pdf.
- [19] M. E. S. Stores, “Abb monitoring and communications.” <http://mesolarstores.com/products.php?6>.
- [20] S. Log, “Solar log - product portfolio.” http://www.solar-log-america.com/fileadmin/BENUTZERDATEN/Country-Partners/North-America/Download_Brochures/SolarLog_Portfolio_USA_Letter_2017_small.pdf.
- [21] S. Log. <https://www.solar-log.com/en/>.
- [22] ABB, “Abb monitoring and communications - vsn700 data logger.” <http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/monitoring-and-communication/data-loggers-and-controllers/vsn700-data-logger>.
- [23] ABB, “Aurora vision plant management platform.” <http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/monitoring-and-communication/aurora-vision-plant-management-platform>.
- [24] M. Volz, F. Klasen, and V. Oestreich, *Industrial Communication with fieldbus and ethernet*. VDE-Verlag, 2011.
- [25] F. Boavida and E. Monteiro, *Engenharia de Redes Informáticas*. FCA - Editora de Informática, 2000.
- [26] J. Gouveia and A. Magalhães, *Redes de Computadores: Curso Completo*. FCA - Editora de Informática, 8 ed., 2009.
- [27] L. L. Peterson and B. S. Davie, *Redes de Computadores - Uma Abordagem Sistemica*. Morgan Kaufmann Publishers, 2 ed., 2004.
- [28] Infocila, “Tipos de Cabos.” http://infocila.blogspot.pt/p/tipos-de-cabos_24.html.
- [29] Hardware, “Cabos de rede.” <http://www.hardware.com.br/tutoriais/cabos-rede/pagina3.html>, 2008.
- [30] P. de Redes, “Fibras Óticas.” http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_fibras_opticas.php, 2013.
- [31] R. Zurawski, *Industrial Communication Technology Handbook*. Taylor and Francis, 2 ed.
- [32] Citisystems, “Por que o rs485 é mais eficiente do que o rs232?.” <https://www.citisystems.com.br/rs485/>, 2016.

- [33] T. Instruments, “Interface circuits for tia/eia-485(rs-485).” <http://www.ti.com/lit/an/s11a036d/s11a036d.pdf>.
- [34] Weidmuller, “Transclinic xi+ installation guide.” <http://www.weidmueller.ru/bausteine.net/f/7625/TransclinicXiInstallationManualAusV1.0020-02-2012.pdf?fd=2f>, 2011.
- [35] Novus, “Conceitos básicos de rs485 e rs422.”
- [36] ConceptDraw, “Ethernet network.” <http://www.conceptdraw.com/examples/ethernet-network>.
- [37] C. Anauate, “Protocolos de Comunicação Industriais.” <https://pt.slideshare.net/MobileIPVideo/apostila-redes-industriais-prof-camilo-a-anauate>, 2013.
- [38] Google, “Google Earth.” URL: <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/>. [Data de último acesso: 25-06-2017].
- [39] H. Technologies, “Smart Logger 1000 - User Manual.” <http://www.solarnrg.nl/downloads/product/4667/8d42424a9f8f3d0/handleiding-huawei-smart-logger-1000.pdf>, 2015.
- [40] Alternergy, “Huawei smart logger 1000.” <https://www.alternenergy.co.uk/homepage-product-categories/popular-products/huawei-smart-logger-1000.html>.
- [41] I. S. Técnico, “Energia fotovoltaica: manual sobre tecnologias, projecto e instalação.” <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>, 2004.
- [42] Huawei, “Sun2000-(33ktl, 40ktl): User manual,” 2015.
- [43] Janitza, “Umg 604 - power analyser.” <http://www.epkom.com.tr/source/dosya/UMG604-EN.pdf>, 2017.
- [44] P. J. F. Quesado, “Coordenação de relés de máximo de intensidade homopolares e homopolares direccionais utilizando o algoritmo evolucionário epso,” *Engenharia Electrotécnica e de Computadores*, 2008.
- [45] M. A. B. Lino *et al.*, *Proteção da interconexão de um gerador distribuído com o sistema de distribuição de energia elétrica*. PhD thesis, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2007.
- [46] S. E. GmbH, “Symap - compact: User manual.” http://docs.wixstatic.com/ugd/6308fb_04c00c93ae4f4d8cbf84777dfc92d2e1.pdf, 2013.
- [47] S. E. GmbH, “Symap - compact: Data sheet.” http://docs.wixstatic.com/ugd/6308fb_776eb68d58da48b8ae7e6993c69a839d.pdf.
- [48] C. T. de Normalização Eletrotécnica, “Esquema Tipo de Unidades de Produção Para Auto-consumo (UPAC) com Tecnologia Solar Fotovoltaica,” 2015.
- [49] ERSE, “Períodos horários.” <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx>.

- [50] EDP, “Gestão de consumos.” <https://energia.edp.pt/empresas/outros-servicos/gestao-de-consumos/>.